



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ANALISIS STABILITAS TEGANGAN DAN FREKUENSI  
PADA *MICROGRID* AC TERHUBUNG DG PADA MODE  
*GRID CONNECTED* DAN *ISLANDING***

Syamsul Arbi  
NRP 2213100003

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. H Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dr. Rony Seto Wibowo S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





**FINAL PROJECT - TE 141599**

**VOLTAGE AND FREQUENCY STABILITY ANALYSIS OF  
AC MICROGRID WITH DG IN GRID CONNECTED AND  
ISLANDING MODE**

Syamsul Arbi  
NRP 2213100003

Advisor  
Prof. Ir. H Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dr. Rony Seto Wibowo S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**ANALISIS STABILITAS TEGANGAN DAN FREKUENSI PADA MICROGRID AC TERHUBUNG DG PADA MODE GRID CONNECTED DAN ISLANDING**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

**Syamsul Arbi**  
NRP. 2213100003



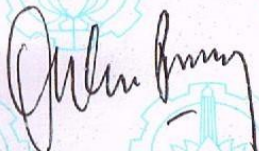
**ANALISIS STABILITAS TEGANGAN DAN FREKUENSI  
PADA MICROGRID AC TERHUBUNG DG PADA MODE  
GRID CONNECTED DAN ISLANDING**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
NIP 194907151974121001

Dosen Pembimbing II



Dr. Rony Seto Wibowo S.T., M.T.  
NIP 197411292000121001



**SURABAYA  
JULI 2017**





# **ANALISIS STABILITAS TEGANGAN DAN FREKUENSI PADA MICROGRID AC TERHUBUNG DG PADA MODE GRID CONNECTED DAN ISLANDING**

Nama Mahasiswa : Syamsul Arbi  
NRP : 2213100003  
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Rony Seto Wibowo S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

*Microgrid* merupakan satu kesatuan unit yang terdiri dari *distributed generation* (DG) dan beban dalam sistem tenaga listrik. Sumber pembangkit tersebar (DG) meliputi minihidro, *photovoltaic*, *wind turbine*, diesel dan lain-lain. Keuntungan teknologi DG diantaranya dapat meningkatkan profil tegangan dan efisiensi penyaluran daya listrik. Namun penambahan DG juga dapat berdampak negatif pada frekuensi dan tegangan karena perubahan yang cepat pada level pembangkitan saat terjadi gangguan. Sistem harus dapat kembali stabil setelah terjadi gangguan. Stabilitas merupakan perhatian penting dalam manajemen energi dan perencanaan sebuah *microgrid* terlebih lagi pada saat terjadi gangguan pada sistem.

Terdapat dua mode operasi dari *microgrid* yaitu *grid connected* dan *islanding*. Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai stabilitas tegangan dan frekuensi pada mode *grid connected* dan *islanding* ketika terjadi gangguan seperti lepasnya generator dan grid. *Microgrid* dimodelkan pada sistem distribusi real GH PLN Payakumbuh dengan menambahkan jenis DG minihidro dan diesel. Pelepasan generator pada mode *grid connected* tidak terlalu berpengaruh pada kestabilan sistem, namun pada keadaan *islanding* terdapat kondisi dimana frekuensi sistem gagal kembali ke *steady state* dan diperlukan skema pelepasan beban atau *load shedding* untuk mengembalikan kestabilan sehingga keandalan sistem dapat terjaga.

Kata kunci : *microgrid*, *distributed generation*, stabilitas tegangan dan frekuensi, *grid connected*, *islanding* dan *frequency load shedding*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **VOLTAGE AND FREQUENCY STABILITY ANALYSIS OF AC MICROGRID WITH DG IN GRID CONNECTED AND ISLANDING MODE**

Student Name : Syamsul Arbi  
NRP : 2213100003  
Supervisor 1 : Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Supervisor 2 : Dr. Rony Seto Wibowo S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

Microgrid is a single unit that consist of distributed generation (DG) and local load in power system. The DG source include minihydro, photovoltaic (PV), wind turbine, diesel and etc. the benefit of DG technology is improve voltage profile and the efficiency of the system can be increased. Nevertheless, by using DG system is also bring the negative impact since voltage and frequency stability are likely to be affected because the rapid change in the generation level of each DG in case of imbalance condition. The system must be back to stable after imbalance condition. The stability is key issues in energy management and design of a microgrid especially in case of imbalance condition in the system.

There are two types of operation mode of microgrid as grid connected and islanding. This final project will discuss about voltage and frequency stability in grid connected and islanding mode when fault like generator outage and utility off. Microgrid is modeled on real distribution system in PLN Payakumbuh by adding DG type minihydro and diesel. The stability is not to be affected when generator outage in grid connected mode. While in islanding mode there is a condition which frequency fail to return to its nominal and required to shed certain of load to bring the stability and maintain the system reliability.

*Keywords : microgrid, distributed generation, voltage and frequency stability, grid connected, islanding and frequency load shedding.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan tugas akhir ini dengan judul “Analisis Stabilitas Tegangan dan Frekuensi pada *Microgrid AC* pada Mode *Grid Connected* dan *Islanding*” dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini mengalami kendala-kendala, namun berkat nasihat, doa, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak dan berkat izin Allah SWT sehingga semua kendala dapat diatasi dengan baik. Pelaksanaan dan penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda M. Nasir, Ibunda Asnimar dan adik-adik serta abang dan kakak yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan studi tepat waktu. Dukungan moril dan materil sangat berguna untuk penulis dalam perkuliahan termasuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D., Bapak Dr. Rony Seto Wibowo S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi dan saran yang sangat berharga kepada penulis dalam menyusun tugas akhir ini.
3. Segenap Bapak/Ibu dosen yang telah banyak memberikan ilmu dan pengalaman selama studi. Serta kepada karyawan dan keluarga besar Departemen Teknik Elektro ITS.
4. Teman-teman keluarga besar E53 yang telah berjuang dan berbagi bersama-sama untuk menyelesaikan permasalahan studi dan kehidupan kampus.
5. Saudara Fadly Muttaqin dan Pius Aditya sebagai teman seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir serta anggota kontrakan tercinta yang selalu mendukung dan memberikan masukan kepada penulis .
6. Raisa Karina Putri yang telah memberikan motivasi dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari terdapat banyak kekurangan sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari

semua pihak. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan berguna bagi penulis khususnya dan juga bagi para pembaca pada umumnya.

Surabaya, 4 Juni 2017

Syamsul Arbi

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b>	i
<b>ABSTRACT</b>	iii
<b>KATA PENGANTAR</b>	v
<b>DAFTAR ISI</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	ix
<b>DAFTAR TABEL</b>	xi

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4

### **BAB 2 SISTEM KELISTRIKAN *MICROGRID* DAN TEORI KESTABILAN**

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	5
2.1.1 Distribusi Radial	5
2.1.2 Sistem Distribusi Aktif	6
2.2 <i>Microgrid</i>	7
2.2.1 <i>Grid Connected</i>	8
2.2.2 <i>Islanding</i>	8
2.3 <i>Distributed Generation (DG)</i>	9
2.3.1 Turbin Minihydro	10
2.3.2 Generator Diesel	11
2.4 Kestabilan Tenaga Listrik	11
2.4.1 Kestabilan Tegangan	12
2.4.2 Kestabilan Frekuensi	14
2.5 Standar Pelepasan Beban	15

### **BAB 3 PERANCANGAN DAN PEMODELAN SISTEM**

3.1	Sistem Distribusi PLN Kota Payakumbuh.....	17
3.1.1	Penyulang POTIN .....	18
3.1.2	Penyulang Simpang Benteng.....	20
3.1.3	Penyulang Koto Nan 4 .....	22
3.2	Data Pembangkitan Distributed Generation .....	24
3.2.1	Power Grid (GH Payakumbuh PLN).....	24
3.2.2	Generator Diesel.....	25
3.2.3	Generator Mini Hydro .....	26
3.3	Skema <i>Load Shedding</i> .....	26

### **BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS**

4.1	Pemodelan Simulasi Sistem Kelistrikan PLN Payakumbuh...	29
4.2	Studi Kasus Analisis Transien .....	29
4.3	Studi Kasus Pada Saat Mode <i>Grid-Connected</i> .....	30
4.3.1	Studi Kasus GC_5DG Pada Saat <i>Grid-Connected</i> .....	30
4.3.2	Studi Kasus GC_4DG Pada Saat <i>Grid-Connected</i> .....	32
4.3.3	Studi Kasus GC_2DG Pada Saat <i>Grid-Connected</i> .....	34
4.4	Studi Kasus Pada Saat Transisi dari Mode <i>Grid-Connected</i> ke <i>Islanding</i> .....	36
4.4.1	Studi Kasus GOff_6DG Pada Saat Transisi .....	38
4.4.2	Studi Kasus GOff_4DG Pada Saat Transisi .....	40
4.4.3	Studi Kasus GOff_3DG Pada Saat Transisi .....	47
4.5	Studi Kasus Pada Saat Mode <i>Islanding</i> Kondisi Pembangkitan Lebih Kecil dari Total Beban .....	51
4.5.1	Studi Kasus I_5DG Pada Saat <i>Islanding</i> .....	52
4.5.2	Studi Kasus I_4DG Pada Saat <i>Islanding</i> .....	53
4.5.3	Studi Kasus I_3DG Pada Saat <i>Islanding</i> .....	57
4.6	Studi Kasus Pada Saat Mode <i>Islanding</i> Kondisi Pembangkitan Lebih Besar dari Total Beban .....	60
4.6.1	Studi Kasus I_5DG Pada Saat <i>Islanding</i> .....	62
4.6.2	Studi Kasus I_4DG Pada Saat <i>Islanding</i> .....	63

### **BAB 5 PENUTUP**

5.1.	Kesimpulan.....	67
5.2.	Saran.....	67

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>69</b>
-----------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>71</b>
-----------------------	-----------

<b>RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>73</b>
---------------------------	-----------



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Topologi Sistem Distribusi Radial .....	6
Gambar 2.2	Tipikal Konfigurasi <i>Microgrid</i> .....	7
Gambar 2.3	Mode Operasi <i>Grid Connected</i> .....	8
Gambar 2.4	Mode Operasi <i>Islanding</i> .....	9
Gambar 2.5	Blok Diagram Generator Diesel Terhubung <i>Microgrid</i>	11
Gambar 2.6	Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik .....	12
Gambar 2.7	Standar Kestabilan Frekuensi pada <i>Steam Turbine</i> Saat Kondisi <i>Abnormal</i> .....	14
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> Sederhana Distribusi GH Payakumbuh .....	17
Gambar 3.2	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang POTIN .....	18
Gambar 3.3	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Simpang Benteng .....	20
Gambar 3.4	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Koto Nan 4.....	22
Gambar 3.5	<i>Flowchart</i> Skema <i>Load Shedding</i> .....	27
Gambar 4.1	Respon Frekuensi Bus 63 Terhadap Pelepasan 1 Unit Generator Saat <i>Grid-Connected</i> .....	31
Gambar 4.2	Respon Tegangan Bus 63 Terhadap Pelepasan 1 Unit Generator Saat <i>Grid-Connected</i> .....	32
Gambar 4.3	Respon Frekuensi Bus 63 Terhadap Pelepasan 2 Unit Generator Saat <i>Grid-Connected</i> .....	33
Gambar 4.4	Respon Tegangan Bus 63 Terhadap Pelepasan 2 Unit Generator Saat <i>Grid-Connected</i> .....	34
Gambar 4.5	Respon Frekuensi Bus 63 Terhadap Pelepasan 4 Unit Generator Saat <i>Grid-Connected</i> .....	35
Gambar 4.6	Respon Tegangan Bus 63 Terhadap Pelepasan 4 Unit Generator Saat <i>Grid-Connected</i> .....	36
Gambar 4.7	Respon Frekuensi Bus 63 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 6 DG Aktif.....	39
Gambar 4.8	Respon Tegangan Bus 63 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 6 DG Aktif.....	40
Gambar 4.9	Respon Frekuensi Bus PLTDiesel_1 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 4 DG Aktif.....	41
Gambar 4.10	Respon Tegangan Bus PLTDiesel_1 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 4 DG Aktif.....	42
Gambar 4.11	Respon Frekuensi GOff_4DG <i>Load Shedding</i> 1 .....	43
Gambar 4.12	Respon Tegangan GOff_4DG <i>Load Shedding</i> 1 .....	44
Gambar 4.13	Respon Frekuensi GOff_4DG <i>Load Shedding</i> 2.....	45

Gambar 4.14	Respon Tegangan GOff_4DG <i>Load Shedding</i> 2 .....	46
Gambar 4.15	Perbandingan Respon Frekuensi Dengan LS dan Tanpa LS .....	46
Gambar 4.16	Respon Frekuensi Bus PLTDiesel_1 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 3 DG Aktif .....	47
Gambar 4.17	Respon Tegangan Bus PLTDiesel_1 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 3 DG Aktif .....	48
Gambar 4.18	Respon Frekuensi Bus PLTDiesel_1 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 3 DG Aktif Setelah <i>Load Shedding</i> 3 Tahap.....	49
Gambar 4.19	Perbandingan Respon Frekuensi GOff_3DG Dengan LS dan Tanpa LS .....	50
Gambar 4.20	Respon Tegangan Bus PLTDiesel_1 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 3 DG Aktif Setelah <i>Load Shedding</i> 3 Tahap.....	50
Gambar 4.21	Respon Frekuensi Bus 63 I_5DG Saat <i>Islanding</i> .....	52
Gambar 4.22	Frekuensi Bus 63 Kasus I_4DG Saat <i>Islanding</i> .....	54
Gambar 4.23	Tegangan Bus 63 Kasus I_4DG Saat <i>Islanding</i> .....	54
Gambar 4.24	Respon Frekuensi Bus 63 Kasus I_4DG Saat <i>Islanding</i> Dengan <i>Load Sheddingng</i> .....	55
Gambar 4.25	Respon Tegangan Bus 63 Kasus I_4DG Saat <i>Islanding</i> Dengan <i>Load Shedding</i> .....	56
Gambar 4.26	Frekuensi Bus 63 Kasus I_3DG Saat <i>Islanding</i> .....	57
Gambar 4.27	Tegangan Bus 63 Kasus I_3DG Saat <i>Islanding</i> .....	57
Gambar 4.28	Respon Frekuensi Bus 63 Kasus I_3DG Saat <i>Islanding</i> Dengan <i>Load Shedding</i> .....	58
Gambar 4.29	Respon Tegangan Bus 63 Kasus I_3DG Saat <i>Islanding</i> Dengan <i>Load Shedding</i> .....	59
Gambar 4.30	Frekuensi Bus 63 Kasus I_5DG Saat <i>Islanding</i> .....	62
Gambar 4.31	Tegangan Bus 63 Kasus I_5DG Saat <i>Islanding</i> .....	63
Gambar 4.32	Frekuensi Bus 63 Kasus I_4DG Saat <i>Islanding</i> .....	64
Gambar 4.33	Tegangan Bus 63 Kasus I_4DG Saat <i>Islanding</i> .....	64

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi DG Berdasarkan Kapasitas Pembangkitan .....	10
Tabel 2.2	Standar Kestabilan Tegangan .....	13
Tabel 2.3	Skema Load Shedding 3 tahap .....	15
Tabel 3.1	Data Beban Penyulang POTIN .....	18
Tabel 3.2	Data Beban Penyulang Simpang Benteng .....	20
Tabel 3.3	Data Beban Penyulang Koto Nan 4 .....	22
Tabel 3.4	Data Total Beban Penyulang GH Payakumbuh .....	24
Tabel 3.5	Data Pembangkitan Sistem .....	24
Tabel 3.6	Parameter Grid PLN .....	25
Tabel 3.7	Parameter Generator Diesel .....	25
Tabel 3.8	Parameter Generator Mini Hydro .....	26
Tabel 3.9	Skema Pelepasan Beban 3 Tahap .....	28
Tabel 3.10	Skema Pelepasan Beban 6 Tahap .....	28
Tabel 4.1	Data Pembangkitan DG dan Grid PLN .....	29
Tabel 4.2	Studi Kasus Pada Mode Terkoneksi Grid ( <i>Grid-Connected</i> ) .....	30
Tabel 4.3	Studi Kasus Pada Saat Transisi ( <i>Grid-Connected - Islanding</i> ) .....	37
Tabel 4.4	Skema Pelepasan Beban 3 Tahap Kasus GOff_4DG .....	43
Tabel 4.5	Skema Pelepasan Beban 3 Tahap Kasus GOff_3DG .....	49
Tabel 4.6	Studi Kasus Pada <i>Islanding</i> .....	51
Tabel 4.7	Skema Pelepasan Beban 3 Tahap Kasus I_4DG .....	56
Tabel 4.8	Skema Pelepasan Beban 3 Tahap Kasus I_3DG .....	59
Tabel 4.9	Data Pembangkitan DG Kasus Islanding .....	61
Tabel 4.10	Studi Kasus Saat Islanding Kondisi Pembangkitan Lebih Besar dari Total Beban .....	61

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan energi listrik semakin pesat seiring dengan pertumbuhan ekonomi. Dalam perkembangan sistem tenaga listrik, penyedia layanan energi listrik dituntut untuk bisa mensuplai energi listrik sesuai permintaan dengan kualitas yang baik. Pembangkitan sistem energi listrik konvensional menggunakan bahan bakar fosil menghadapi permasalahan menipisnya ketersediaan sumber bahan bakar fosil, buruknya efisiensi dan polusi lingkungan. Permasalahan ini menuntun pada *trend* baru pembangkitan energi listrik pada level distribusi menggunakan pembangkit *non-conventional/renewable energy* seperti tenaga angin, sel surya, *fuel cell*, minihydro dan lain-lain [1]. Teknologi ini dikenal dengan *Distributed Generation* (DG).

*Distributed Generation* (DG) diartikan sebagai pembangkit listrik berskala kecil yang terletak dekat dengan beban. Penggunaan pembangkit tersebar mampu meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem, mengurangi rugi transmisi, mengurangi polusi dan menjamin kontinuitas penyaluran energi listrik. Namun dengan peningkatan drastis penggunaan DG menimbulkan permasalahan berupa stabilitas tegangan dan frekuensi akan terganggu akibat perubahan yang cepat pada level pembangkitan dan pembebanan [2]. Apabila hal ini dibiarkan maka dapat menimbulkan dampak negatif pada keamanan dan keandalan sistem. Strategi kontrol yang tepat akan mengembalikan kestabilan sistem jika terjadi kondisi tidak seimbang.

Pada operasinya DG diintegrasikan dengan jaringan distribusi melalui *microgrid*. *Microgrid* adalah satu kesatuan kontrol yang terdiri dari beberapa DG dan beban yang saling terinterkoneksi. *Microgrid* dapat beroperasi melalui dua mode operasi yaitu terhubung dengan grid utama (*grid-connected*) dan terputus dari grid utama (*islanding*). Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai analisis kestabilan tegangan dan frekuensi pada *microgrid* dengan pemasangan DG pada mode operasi *grid connected* dan *islanding* menggunakan *governor* dan *exciter* pada generator [2]. Metode ini digunakan untuk mencapai sistem yang stabil apabila terjadi gangguan.

Pada tugas akhir ini diusulkan pemodelan *microgrid* pada sistem real distribusi radial PLN GH Payakumbuh. Sejumlah tiga *feeder* GH Payakumbuh akan digunakan sebagai data pemodelan sistem. Penambahan DG jenis minihidro dan diesel akan diusulkan pada tugas akhir ini. Kestabilan tegangan dan frekuensi akan diamati sesuai dengan standar kestabilan tegangan dan frekuensi.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Hal yang menjadi permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana mengintegrasikan sistem distribusi PLN dengan penetrasi DG.
2. Bagaimana mendapatkan kestabilan tegangan dan frekuensi tetap stabil pada kondisi *grid connected*, transisi dari *grid connected* ke *islanding* dan *islanding* saat jumlah pembangkitan berubah-ubah.
3. Bagaimana pengaruh pengaturan *governor* dan *exciter* pada generator DG untuk menjaga kestabilan frekuensi dan tegangan saat terjadi gangguan.

## **1.3 Batasan Masalah**

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, terdapat batasan yang dibahas sebagai berikut:

1. Simulasi menggunakan software ETAP 12.6.0
2. Analisis dilakukakn pada modul *transient stability* di software ETAP 12.6.0
3. Simulasi menggunakan sistem distribusi PLN Payakumbuh
4. Jenis DG yang digunakan yaitu minihidro dan diesel generator.
5. Simulasi sistem dilakukan pada keadaan seimbang
6. Parameter yang dianalisis yaitu kestabilan tegangan dan frekuensi akibat pelepasan generator dan PLN.
7. Simulasi dan analisis tidak memperhatikan koordinasi pengaman sistem,

#### 1.4 Tujuan

Tujuan dari pelaksanaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mendapatkan pemodelan sistem *microgrid* secara matematis.
2. Mendapatkan level tegangan dan frekuensi yang stabil pada saat gangguan.
3. Mendapatkan jumlah pembebanan yang sesuai berdasarkan jumlah pembangkitan yang berubah-ubah.

#### 1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Dilakukan untuk menunjang pemahaman teori mengenai sistem distribusi radial, *Distributed Generation* (DG), *Microgrid* dan *Droop Control* melalui jurnal dan buku.

2. Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan berupa single line diagram sistem distribusi *real*, data beban dari beberapa penyulang sistem distribusi dan parameter pembangkit DG.

3. Pemodelan sistem

Melakukan pemodelan sistem *microgrid* sehingga dapat dianalisa kestabilannya menggunakan software ETAP 12.6.0.

4. Simulasi dan analisis

Melakukan simulasi *load flow* dan *transient* sistem *microgrid* dan penerapan metode *Droop Control* untuk mendapatkan hasil kestabilan tegangan dan frekuensi pada saat kondisi terjadi gangguan.

5. Penarikan kesimpulan

Dari hasil analisis data simulasi yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan yang merupakan jawaban dari permasalahan.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini dibagi menjadi 5 bagian:

### 1. BAB 1 PENDAHULUAN

Membahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi penelitian, sistematika penulisan dan relevansi dari tugas akhir.

### 2. BAB 2 SISTEM KELISTRIKAN MICROGRID

Penjelasan mengenai sistem distribusi tenaga listrik, *microgrid*, *distributed generation* (DG) dan konsep kestabilan tenaga listrik

### 3. BAB 3 PERANCANGAN DAN PEMODELAN SISTEM

Berisikan tentang rancangan sistem distribusi radial PLN Payakumbuh dan data-data yang diperlukan dalam simulasi. Penerapan strategi untuk mengatasi apabila terjadi ketidakstabilan.

### 4. BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS DATA

Menganalisis hasil studi kasus yang dibuat untuk mencapai kestabilan tegangan dan frekuensi. Analisis pengaruh *exciter* dan *droop governor* terhadap kestabilan frekuensi dan tegangan.

### 5. BAB 5 PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran tugas akhir dari hasil analisis data.

## 1.7 Relevansi

Penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan acuan kemampuan kestabilan tegangan pada sistem jaringan distribusi radial GH Payakumbuh apabila diintegrasikan dengan DG.
2. Menjadi referensi untuk mengembangkan pemodelan teknologi DG di masa yang akan datang.
3. Menjadi referensi dalam mengatasi masalah yang terdapat ada jaringan distribusi radial.



## **BAB 2**

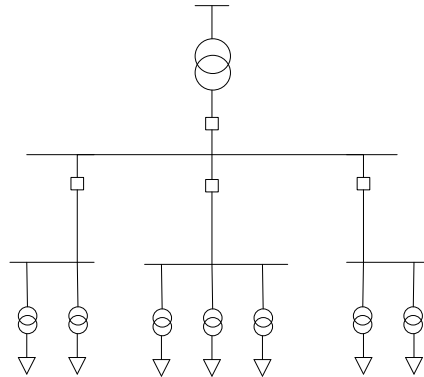
### **SISTEM KELISTRIKAN *MICROGRID* DAN TEORI KESTABILAN**

#### **2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik**

Sistem penyaluran tenaga listrik dibagi menjadi tiga tahapan yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Dalam penyaluran tenaga listrik, sistem distribusi merupakan bagian penting untuk menyalurkan energi listrik kepada konsumen. Energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit konvensional memerlukan sistem transmisi dan distribusi agar tenaga listrik bisa sampai memenuhi kebutuhan beban. Sistem distribusi bertugas untuk membagi tenaga listrik ke beberapa pusat beban melalui gardu induk dan gardu hubung.

##### **2.1.1 Distribusi Radial**

Sistem distribusi radial merupakan penggolongan sistem distribusi berdasarkan topologi atau susunan rangkaiannya. Topologi radial ini merupakan topologi yang umumnya digunakan pada sistem distribusi tenaga listrik. Hal ini disebabkan karena bentuk topologinya yang paling sederhana. Sistem distribusi radial digambarkan dengan satu sumber utilitas PLN ditarik percabangannya secara radial menuju ke masing-masing pusat beban. Keuntungan dari sistem distribusi radial secara umum adalah kesederhanaan susunan rangkaiannya sehingga menyebabkan kemudahan dalam studi aliran daya dan pengaturan tegangannya. Selain itu, dari segi biaya investasi distribusi radial relatif murah, hal ini dikarenakan penggunaan komponennya yang sedikit. Bentuk susunan rangkaian distribusi radial dapat dilihat pada gambar 2.1 :



**Gambar 2.1** Topologi Sistem Distribusi Radial

Namun distribusi radial juga memiliki kekurangan yaitu kontinuitas pelayanan daya kurang maksimal karena tidak terdapat alternatif jaringan apabila terjadi gangguan. Daerah yang terletak dibawah titik gangguan atau yang lebih jauh dari sumber akan terisolasi. Kerugian lainnya adalah kualitas tegangan yang kurang baik disebabkan drop tegangan yang semakin besar terjadi pada ujung saluran yang jauh dari sumber.

### 2.1.2 Sistem Distribusi Aktif

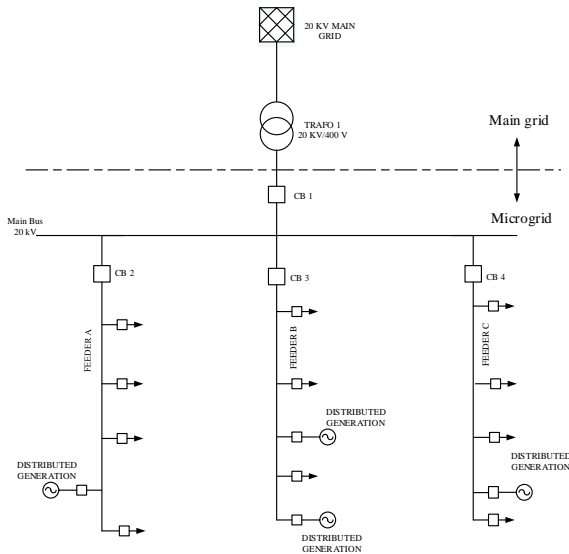
Jaringan distribusi listrik mengalami transisi dari sistem distribusi pasif menjadi sistem distribusi aktif. Pasif maksudnya arah aliran listrik hanya berlangsung satu arah (*unidirectional*) sedangkan aktif adalah aliran listrik yang berlangsung dua arah (*bidirectional*). Jaringan distribusi tanpa DG merupakan pasif karena tenaga listrik disuplai oleh grid utama ke masing-masing beban. Jaringan distribusi ini menjadi aktif ketika DG ditambahkan pada jaringan distribusi yang menyebabkan aliran daya listrik menjadi dua arah karena adanya suplai dari DG [1].

## 2.2 Microgrid

*Microgrid* didefinisikan sebagai bagian dari jaringan distribusi yang terintegrasi dengan DG dan beban lokal. *Microgrid* didesain untuk mensuplai tenaga listrik pada suatu regional dengan level tegangan distribusi. Pada operasinya *microgrid* memiliki pembangkit sendiri yaitu DG yang letaknya dekat dengan pusat beban. Generator yang digunakan pada *microgrid* umumnya berupa *renewable* atau *non-conventional*. Perbedaan antara *microgrid* dan pembangkit konvensional adalah :

1. *Microgrid* memiliki kapasitas yang jauh lebih kecil dibanding pembangkit konvensional.
2. Daya output yang dihasilkan *microgrid* bisa langsung diintegrasikan dengan utilitas jaringan distribusi.
3. Letak yang dekat dengan beban membuat suplai lebih efisien dengan profil tegangan dan frekuensi yang baik.

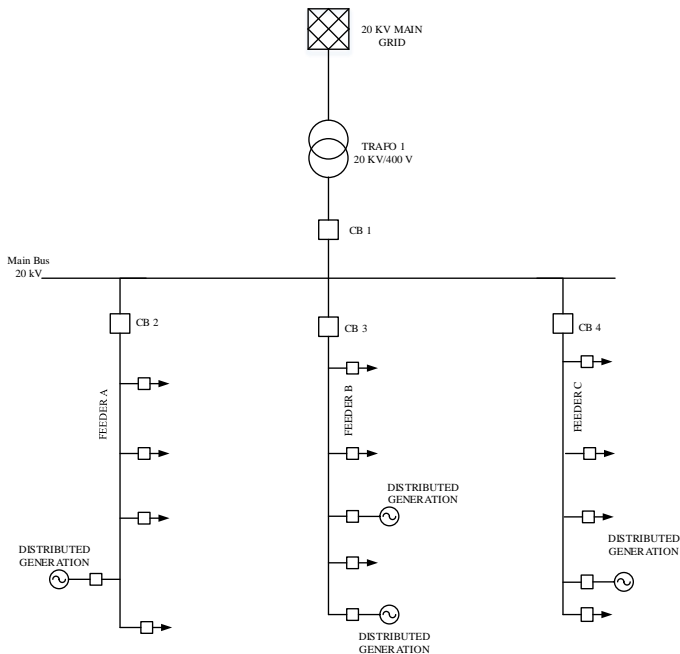
*Microgrid* dapat beroperasi dalam dua mode yaitu mode terhubung ke grid utama (PLN) dan mode terputus dari grid utama. Kedua mode ini juga disebut *grid-connected* dan *islanding*. Berikut tipikal konfigurasi *microgrid* :



**Gambar 2.2** Tipikal Konfigurasi *Microgrid*

### 2.2.1 Grid Connected

Pada mode *grid-connected*, *microgrid* dihubungkan dengan grid utama dalam hal ini PLN. DG yang beroperasi dapat mensuplai daya ke beban dengan bantuan utilitas PLN. Pada mode ini sumber PLN sebagai sumber yang tak terbatas dioperasikan pada mode swing dimana menjadi sumber referensi. Sumber PLN akan mensuplai daya sisa yang tidak terpenuhi oleh pembangkitan DG.

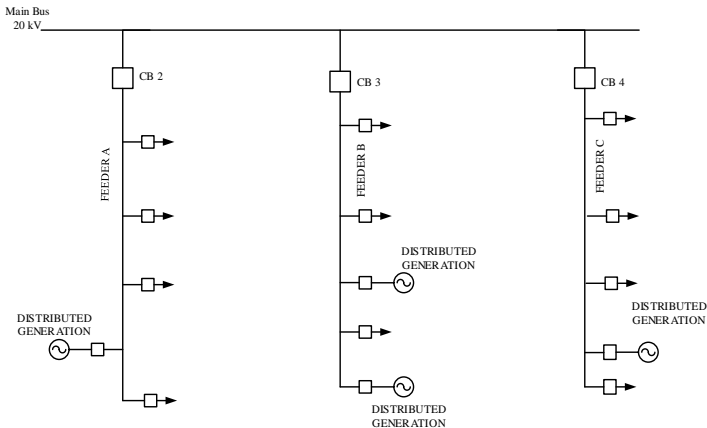


**Gambar 2.3** Mode Operasi *Grid-Connected*

### 2.2.2 Islanding

Kondisi *islanding* adalah pada saat *microgrid* terputus dari grid utama (PLN) dan beban dalam sistem tersebut sepenuhnya disuplai oleh *Distributed Generation*. Dalam kasus terjadi gangguan, *microgrid* berubah menjadi mode *islanding* agar tetap dapat mensuplai beban. *Islanding* menyebabkan *microgrid* beroperasi tanpa ada bantuan dari PLN. *Distributed Generation* (DG) mensuplai beban secara mandiri

untuk memenuhi kebutuhan sistem. Perubahan yang cepat dan tiba-tiba dari pembangkitan mengikuti jumlah beban menyebabkan deviasi repon frekuensi selama *islanding* [3].



**Gambar 2.4** Mode Operasi *Islanding*

### 2.3 Distributed Generation (DG)

*Distributed generation* merupakan teknologi pembangkit listrik berskala kecil yang letaknya tersebar di dekat pusat-pusat beban. Sumber energi dari DG bisa merupakan sumber *renewable* (angin, panas matahari, air, biomassa) atau *non-renewable* (diesel, uap, fuel cell). Karena peletakan DG yang tersebar maka DG dapat diintegrasikan dengan sistem distribusi untuk memenuhi kebutuhan beban. Dari beberapa studi dapat disimpulkan bahwa DG :

1. Tidak terpusat, dan dekat dengan beban
2. Berkapasitas kecil dari 50 MW
3. Terhubung dengan sistem distribusi tegangan mencapai 145 kV.

Berikut diberikan tabel pengklasifikasian unit DG berdasarkan kapasitasnya [4] :

**Tabel 2.1** Klasifikasi DG Berdasarkan Kapasitas Pembangkitan

Classification	Technical Capacity	Typical Installation
Micro	< 2 kW	Rooftop solar PV
Mini	2 kW - 10 kW	Fuel cell, combined heat
Small	10 kW - 1 MW	Biomass, small hydro
Medium	1 MW - 5 MW	Biomass, hydro, local wind,diesel
Large	> 5 MW	Hydro, solar thermal, wind farm, diesel

### 2.3.1 Turbin Minihydro

Minihydro merupakan jenis DG yang berbasis energi terbarukan yaitu menggunakan air sebagai sumber energi primernya. Minihydro menggunakan turbin hydro untuk mengkonversi energi potensial dan kinetik dari air menjadi daya mekanik yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik pada generator. *Shaft* mekanik turbin hydro memanfaatkan tekanan dan debit air yang mengalir akibat adanya perbedaan ketinggian. Daya yang dihasilkan sebanding dengan perkalian tekanan dan debit air. Berikut rumus umum daya keluaran sistem hydro [5]:

$$P_{out} = \eta \rho g Q h \quad (1)$$

$P_{out}$  = daya mekanik yang dibangkitkan (Watts)

$\eta$  = efisiensi turbin

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{Kg/m}^3$ )

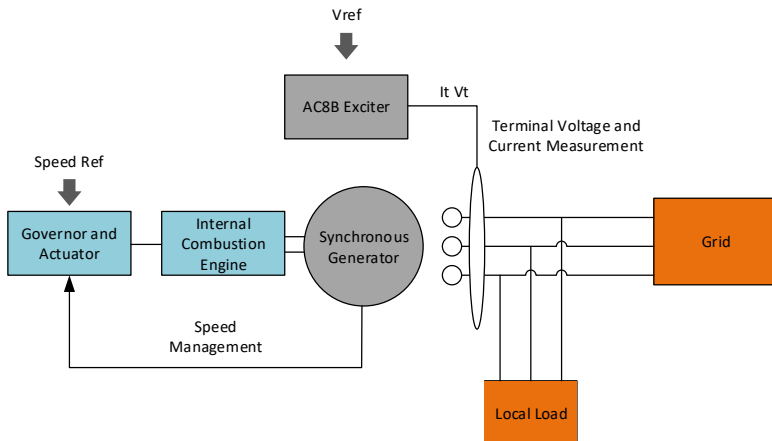
$Q$  = debit air ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$h$  = *pressure head* (m)

Turbin yang baik umumnya bisa memiliki efisiensi pada rentang 80 % - 90 %.

### 2.3.2 Generator Diesel

Generator diesel merupakan jenis DG yang paling umum digunakan dalam teknologi *microgrid* saat ini. Pembangkit jenis ini banyak digunakan karena memiliki efisiensi dan keandalan yang tinggi. Diesel menggunakan bahan bakar sebagai sumber primernya. Energi listrik dibangkitkan dari generator sinkron. Skema desain dari generator diesel dijelaskan dengan gambar 2.5 berikut [2]. Kriteria yang paling menonjol dari generator diesel adalah keberlangsungan bahan bakarnya. Generator diesel harus mampu mempertahankan tegangan dan frekuensi saat terjadi perubahan beban yang cepat.



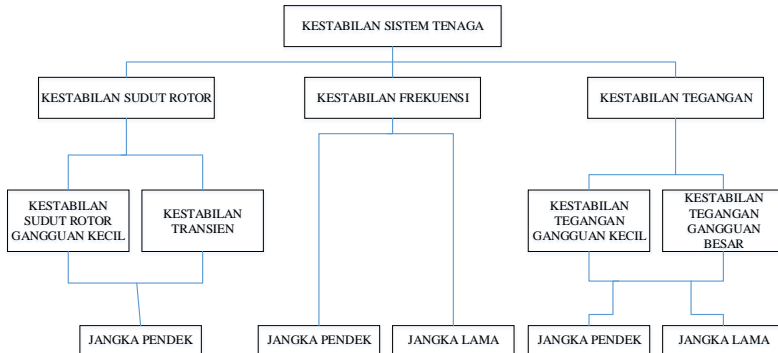
**Gambar 2.5** Blok Diagram Generator Diesel Terhubung ke *Microgrid*

Gambar diatas merupakan blok diagram generator diesel dalam mode operasi terhubung dengan grid PLN. Pada tugas akhir ini akan dimodelkan generator diesel dengan sinkron generator.

### 2.4 Kestabilan Tenaga Listrik

Kestabilan sistem tenaga listrik dapat diartikan sebagai kecenderungan suatu sistem tenaga dalam kekuatan memulihkan keadaan, yang sama atau lebih besar daripada gangguan pada saat terjadi gangguan. Stabilitas sistem didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem untuk kembali ke keadaan seimbang setelah diberi gangguan.

Kestabilan dalam sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi tiga macam yaitu kestabilan tegangan, kestabilan frekuensi dan kestabilan sudut rotor. Klasifikasi kestabilan dijelaskan pada gambar dibawah :



**Gambar 2.6** Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Pada tugas akhir ini akan dibahas kestabilan tegangan dan kestabilan frekuensi sistem tenaga listrik

#### 2.4.1 Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan adalah kemampuan dari sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kestabilan level tegangan pada batas yang diizinkan di semua bus apabila terjadi gangguan [6]. Sebuah sistem dapat dikatakan stabil apabila mampu menjaga naik turun level tegangan pada batas yang sesuai standar dalam jangka waktu yang diizinkan saat terjadi keadaan tidak seimbang. Sebaliknya sistem tidak stabil apabila tidak dapat mengembalikan keadaan semula apabila terjadi gangguan. Salah satu penyebab ketidakstabilan adalah ketidaksinkronan antara kebutuhan beban dan pembangkitan. Biasanya gangguan yang terjadi adalah lepasnya beban yang signifikan atau lepasnya generator sehingga tegangan menjadi berosilasi tidak stabil.

Kestabilan berdasarkan gangguan yang terjadi dapat dikategorikan menjadi dua yaitu kestabilan tegangan akibat gangguan besar dan kestabilan tegangan akibat gangguan kecil. Gangguan besar yang terjadi adalah hilangnya supply dari generator (*generator outage*), perubahan



beban yang besar dan *short circuit*. Sedangkan gangguan kecil yaitu perubahan beban dengan kapasitas yang kecil.

Kestabilan berdasarkan lama gangguan dapat dibedakan menjadi gangguan jangka pendek dan jangka panjang. Gangguan kestabilan jangka pendek mengakibatkan *voltage dip* dan *voltage swell*. Sedangkan gangguan kestabilan jangka panjang dapat mengakibatkan *undervoltage* dan *over voltage*. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada tabel berikut [7]:

**Tabel 2.2** Standar Kestabilan Tegangan (IEEE 1159-2009)

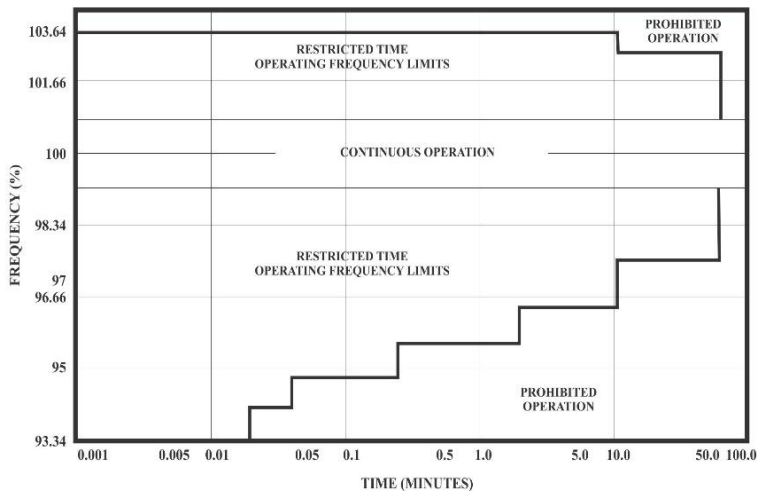
No	Kategori	Durasi	Besar Tegangan
<b>A</b>	<b>Tegangan RMS Durasi Pendek</b>		
1	Instantaneous		
	Dip (sags)	0.5-30cycles	0.1-0.9 pu
	Swell	0.5-30cycles	1.1-1.8 pu
2	Momentary		
	Interruption	0.5 cycles-3s	<0.1 pu
	Dip (sags)	30 cycles-3s	0.1-0.9 pu
	Swell	31 cycles-3s	1.1-1.4 pu
3	Temporary		
	Interruption	> 3s-1 min	<0.1 pu
	Dip (sags)	> 3s-1 min	0.1-0.9 pu
	Swell	> 3s-1 min	1.1-1.2 pu
<b>B</b>	<b>Tegangan RMS Durasi Panjang</b>		
	Interruption	> 1 min	0.0 pu
	Undervoltage	> 1 min	0.8-0.9 pu
	Overvoltage	> 1 min	1.1-1.2 pu

Standar deviasi tegangan oleh PLN yang digunakan dalam kondisi normal atau stabil untuk tegangan nominal:

- 2.5 500 kV ; +5%,-5%
- 2.6 150 kV ; +5%,-10%
- 2.7 70 kV ; +5%,-10%
- 2.8 20 kV ; +5%,-10%

## 2.4.2 Kestabilan Frekuensi

Kestabilan frekuensi adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kestabilan frekuensi saat terjadi gangguan misalnya pelepasan beban secara tiba-tiba, lepasnya generator dan *short circuit*. Sistem dikatakan stabil frekuensinya apabila mampu kembali ke keadaan normal setelah terjadi gangguan dengan fluktuasi level frekuensi yang masih diizinkan dan selang waktu yang diizinkan. Faktor yang mempengaruhi kestabilan frekuensi adalah tidak sinkronnya jumlah pembangkitan dengan jumlah beban serta fungsi *governor* yang tidak bekerja. Standar kestabilan frekuensi menurut ANSI/IEEE C37.106-1987 adalah sebagai berikut [8]:



**Gambar 2.7** Standar Kestabilan Frekuensi pada *Steam Turbine* Saat Kondisi Abnormal

*Restricted time operating frequency limits* merupakan area frekuensi kerja yang masih diizinkan, bersifat sementara. *Prohibited operation* adalah frekuensi kerja yang dilarang atau tidak diizinkan. *Continuous operation* merupakan frekuensi normal berada pada rentang 99 % - 101 %.

## 2.5 Standar Pelepasan Beban

Pelepasan beban merupakan fenomena sistem tenaga listrik yang memperbolehkan beberapa beban dilepas untuk menjaga kestabilan sistem tenaga listrik. Faktor yang mempengaruhi pelepasan beban adalah karena adanya penurunan frekuensi akibat ketidakseimbangan daya aktif yang dibangkitkan generator dengan kebutuhan beban. Penyebab penurunan frekuensi diantaranya lepasnya generator (*generator outage*), dan terputus dari grid utama PLN. Penurunan frekuensi ini dapat menyebabkan pemadaman total yang dapat menimbulkan kerugian bagi sistem tenaga listrik apabila tidak diatasi dengan cepat. Besarnya beban yang dilepas tergantung pada jumlah pembangkitan yang hilang, semakin besar pembangkitan yang hilang maka jumlah beban yang dilepas semakin besar pula. Syarat pelepasan beban antara lain :

- Pelepasan beban dilakukan secara bertahap
- Beban yang dilepas seminimal mungkin tergantung jumlah pembangkitan yang hilang
- Beban yang dilepas merupakan prioritas terendah
- Pelepasan beban dilakukan saat benar-benar terjadi penurunan frekuensi

Menurut standar ANSI/IEEE C37.106-1987 terdapat dua skema pelepasan beban yaitu pelepasan beban 3 tahap dan 6 tahap. Pada tugas akhir ini fenomena turunnya frekuensi akibat lepasnya generator akan diamati dan untuk menjaga stabilitas akan dilakukan pelepasan beban 3 tahap. Berikut dijelaskan skema pelepasan beban 3 tahap pada sistem 60 Hz dan 50 Hz :

**Tabel 2.3** Skema Load Shedding 3 tahap

Step	Frequency Trip Point		%	Percent of Load Shedding (%)	Fixed Time Delay (Cycles) on Relay
	Sistem 60 Hz	Sistem 50 Hz			
1	59.3	49.41	98.83	10	6
2	58.9	49.08	98.16	15	6
3	58.5	48.75	97.5	As required to arrest decline before 58.2 (97%) Hz	

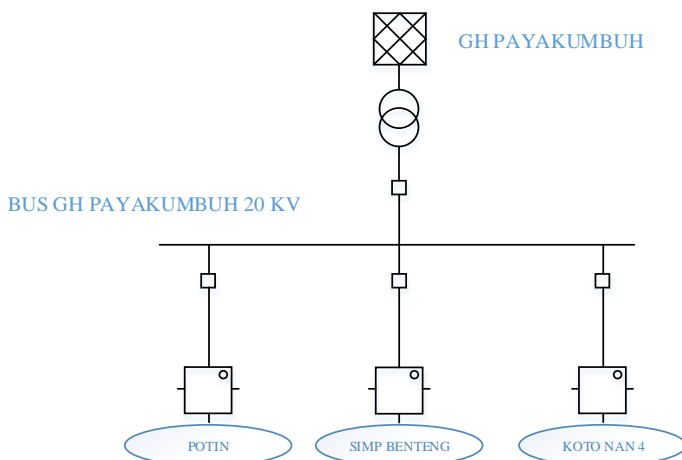
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 3

### PERANCANGAN DAN PEMODELAN SISTEM

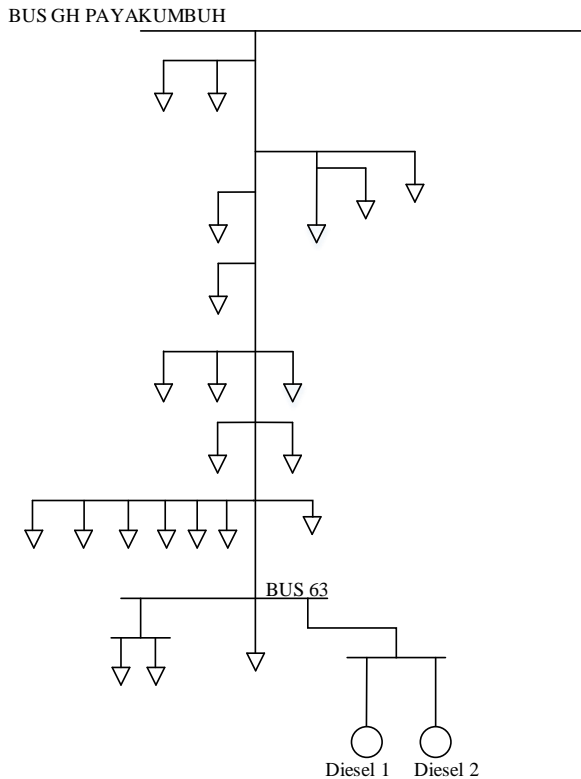
#### 3.1 Sistem Distribusi PLN Kota Payakumbuh

Kota payakumbuh merupakan salah satu kota yang terletak di provinsi Sumatra Barat. Kebutuhan listrik di kota payakumbuh tergolong cukup besar sehingga diperlukan pasokan listrik yang memadai. Pada tugas akhir ini akan digunakan data dari PLN Payakumbuh. Dengan melihat topologi jaringan sistem distribusi di kota Payakumbuh, sistem distribusinya termasuk distribusi radial karena percabangan ditarik dari satu sumber yaitu gardu hubung Payakumbuh. Terdapat beberapa penyulang yang terhubung pada gardu hubung Payakumbuh. Dalam penelitian ini digunakan penyulang Potin, Simpang Benteng dan Koto Nan 4. Gardu hubung Payakumbuh terhubung langsung dengan gardu induk payakumbuh. Berikut akan diberikan data masing-masing penyulang.



**Gambar 3.1** *Single Line Diagram Sederhana Distribusi GH Payakumbuh*

### 3.1.1 Penyulang POTIN



**Gambar 3.2** *Single Line Diagram* Penyulang POTIN

**Tabel 3.1** Data Beban Penyulang POTIN

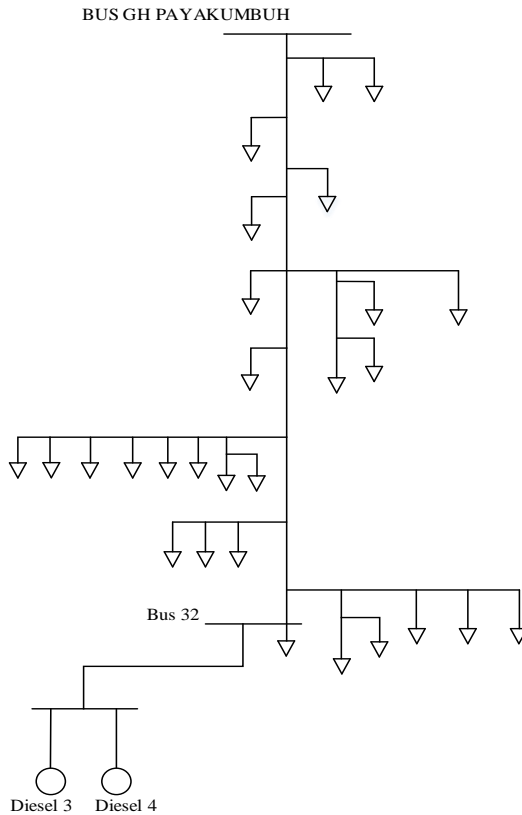
ID	Type	Rating	kW	% PF
Gd. Jl Jeruk	Static	50 kVA	49.653	100
Labuah Basilang	Static	250 kVA	241	100
Masri M	Lumped	50 kVA	41.141	85
Pasar Ibuh	Lumped	160 kVA	129	85
Pasar Ibuh Baru	Lumped	160 kVA	129	85
Potin	Static	250 kVA	242	100

**Tabel 3.1** Data Beban Penyulang POTIN (lanjutan)

ID	Type	Rating	kW	% PF
Sisip Potin	Static	160 kVA	155	100
BNI A Yani	Lumped	50 kVA	42.507	85
BRI Pyk	Lumped	100 kVA	81.675	85
GH Kota	Lumped	250 kVA	213	90
GH Kota 2	Lumped	250 kVA	213	90
Jl.Jambu	Lumped	50 kVA	41.064	85
Ktr Bupati	Lumped	200 kVA	170	85
Kubu Gadang Pacuan	Lumped	100 kVA	81.598	85
Masjid Muhammadiyah	Lumped	200 kVA	161	85
Pasar Ibh Timur	Lumped	160 kVA	129	85
Pasar Pyk	Lumped	250 kVA	202	85
Pasar Sago	Lumped	160 kVA	129	85
Plaza Pyk	Static	200 kVA	161	85
RSUD Pyk	Static	200 kVA	193	100
Simp. Ranah	Lumped	50 kVA	41.059	85
Sisip Simp. Benteng	Static	250 kVA	241	100
		<b>Total</b>	<b>3086.697</b>	

Sistem distribusi radial ini memiliki 3 penyulang yaitu penyulang POTIN, Simpang Benteng dan Koto Nan 4. Pada penyulang POTIN terdiri dari 22 bus, 15 lumped load, 7 static load dengan total beban yaitu 3086.69 kW. Pada feeder ini terdapat beberapa beban dengan kategori penting dan harus dijaga pasokannya seperti gedung pemerintahan, kantor, rumah sakit, pasar dan pusat perbelanjaan. Pada feeder ini akan ditambahkan 2 unit DG jenis diesel yang memiliki rating 2.18 MW (kapasitas pembangkitan maksimal 1.5 MW) pada bus 63. DG beroperasi pada tegangan 6.3 kV. Masing-masing DG dihubungkan dengan trafo berkapasitas 10 MVA untuk menaikkan level tegangan dari 6.3 kV menjadi 20 kV. DG tipe diesel dimodelkan dengan exciter dan governor.

### 3.1.2 Penyulang Simpang Benteng



**Gambar 3.3** *Single Line Diagram* Penyulang Simpang Benteng

**Tabel 3.2** Data Beban Penyulang Simpang Benteng

ID	Type	Rating	kW	% PF
Cubadak Air	Lumped	50 kVA	40.948	85
Griya Talawi	Static	160 kVA	154	100
Jariang Koto	Lumped	160 kVA	128	85



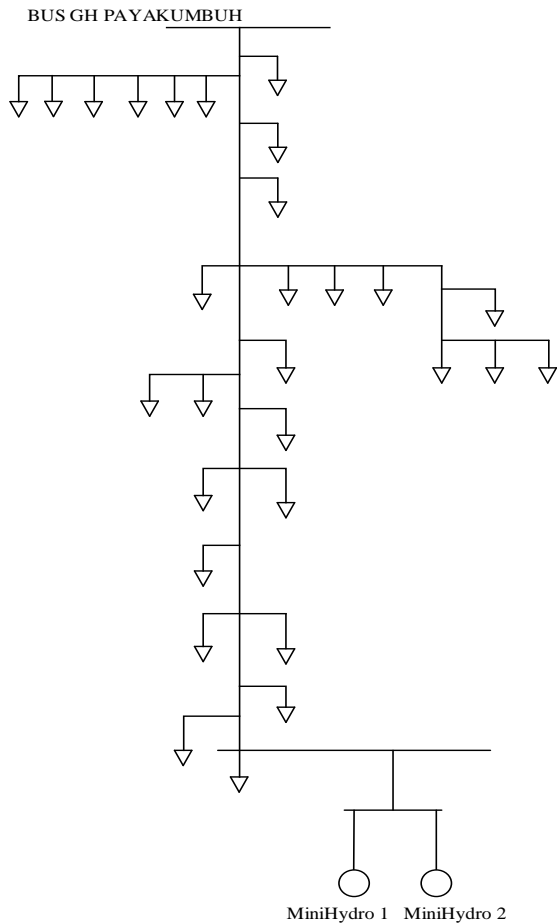
**Tabel 3.2** Data Beban Penyulang Simpang Benteng (lanjutan)

ID	Type	Rating	kW	% PF
Kertas Telur T	Static	250 kVA	241	100
Kt. Baru Payobasung	Lumped	160 kVA	129	85
Kt. Nan Gadang	Static	160 kVA	155	100
Kt. Nan Gadang 1	Lumped	100 kVA	81.523	85
Padang Kaduduk	Static	160 kVA	154	100
Payonibung	Static	250 kVA	240	100
Pdg Rantang Talawi	Static	50 kVA	48.713	100
Pdg. Rantang Br	Static	100 kVA	95.247	100
Simp. Muaro	Static	160 kVA	154	100
Simp. Padang Kaduduk	Static	50 kVA	48.776	100
Sisip Talawi	Static	100 kVA	95.232	100
Talawi	Static	160 kVA	154	100
Tambago	Static	50 kVA	48.739	100
Tarok	Static	160 kVA	154	100
Taruko	Static	100 kVA	97.218	100
Taruko 1	Static	50 kVA	47.787	100
Balai baru	Static	50 kVA	49.021	100
Kantor BPJS	Lumped	100 kVA	81.732	85
Ktr Pajak	Static	100 kVA	95.504	100
Nan Kodok	Static	160 kVA	154	100
Payolinyam	Static	160 kVA	154	100
Saw Mill Zahur Hamzah	Lumped	50 kVA	39.688	85
Simp. Benteng 1	Lumped	200 kVA	162	85
Sisipan Nan Kodok	Lumped	200 kVA	160	85
Tj. Anau	Static	100 kVA	95.268	100
		Total	3258.396	

Pada penyulang Simpang Benteng terdiri dari 29 bus, 8 lumped load, 21 static load dengan total beban yaitu 3258.39 kW. Pada feeder ini terdapat beberapa beban dengan kategori penting seperti kantor namun, pada feeder ini banyak terdapat beban yang tidak prioritas seperti perumahan. Beban ini dapat dilepas apabila dibutuhkan skema pelepasan beban. Pada feeder ini akan ditambahkan 2 unit DG jenis diesel yang memiliki rating 2.18 MW (kapasitas pembangkitan maksimal 1.5 MW) pada bus 32. DG beroperasi pada tegangan 6.3 kV. Masing-masing DG dihubungkan dengan trafo berkapasitas 10 MVA untuk menaikkan level

tegangan dari 6.3 kV menjadi 20 kV. DG tipe diesel dimodelkan dengan exciter dan governor.

3.1.3 Penyulang Koto Nan 4



Gambar 3.4 Single Line Diagram Penyulang Koto Nan 4

**Tabel 3.3** Data Beban Penyulang Koto Nan 4

ID	Type	Rating	kW	% PF
Batimah	Lumped	160 kVA	129	85
Batiray	Lumped	160 kVA	129	85
Bonai	Lumped	100 kVA	79.4	85
Bulakan Balai	Lumped	160 kVA	129	85
Parit Rantang	Lumped	200 kVA	162	85
Parit Rantang baru	Static	200 kVA	193	100
Pdg Tengah	Lumped	160 kVA	129	85
Perum Payolansek	Lumped	160 kVA	129	85
Perum Talang	Static	160 kVA	154	100
Perumtel	Lumped	160 kVA	129	85
Simp 4 Payolansek	Lumped	50 kVA	40.973	85
Sinar Pagi	Static	160 kVA	154	100
Sisip Bonai	Lumped	100 kVA	79.4	85
Sisip Parit Rantang	Static	200 kVA	193	100
Sisip. Tj Gdang	Static	250 kVA	241	100
Tj. Gadang	Static	250 kVA	241	100
Annisa	Lumped	50 kVA	41.137	85
Asri Pyk	Lumped	250 kVA	201	85
BNI Pyk	Lumped	250 kVA	203	85
KFC	Lumped	160 kVA	129	85
KLK Pyk	Static	250 kVA	241	100
Kt. Tengah	Static	200 kVA	192	100
Pdg. Datar	Lumped	250 kVA	201	85
Pdg. Tinggi	Lumped	50 kVA	41.076	85
Perikanan	Static	50 kVA	48.786	100
Piliang	Lumped	100 kVA	79.526	85
Pulai Talang	Static	160 kVA	154	100
SMEA 2	Lumped	160 kVA	128	85
Talang	Lumped	250 kVA	201	85
		Total	4172.298	

Feeder ketiga yaitu Koto Nan 4 yang terhubung langsung dengan GH Payakumbuh. Feeder Koto Nan 4 memiliki total beban yang lebih banyak dibanding dua feeder lainnya yaitu total 4172.298 kW. Terdapat 19 Lumped load dan 10 static load. Pada feeder ini didominasi oleh beban kantor, sekolah, pusat perbelanjaan dan perumahan. Pada feeder ini akan ditambahkan sejumlah dua unit DG jenis mini hydro yang memiliki rating

3.65 MW). Dua DG ini mensuplai dengan disambungkan trafo kapasitas 10 MVA untuk menaikkan tegangan 6.3 kV ke 20 kV yang selanjutnya disalurkan ke jaringan distribusi.

**Tabel 3.4** Data Total Beban Penyulang GH Payakumbuh

Data Beban	Kapasitas (kW)
Feeder Potin	3086.697
Feeder Simpang Benteng	3258.39
Feeder Koto Nan 4	4172.29
TOTAL	10517.377

Tabel diatas merupakan data beban tiap feeder. Beban terbanyak terletak pada feeder Koto Nan 4. Dari sistem ini juga terdapat losses sistem sebesar 0.2 MW.

### 3.2 Data Pembangkitan *Distributed Generation*

Dari sejumlah pembangkit DG dan PLN berikut jumlah suplai yang diberikan pada saat keadaan normal. Daya yang terbangkitkan oleh DG akan disuplai langsung ke jaringan distribusi. Pada mode *grid-connected* DG dibantu PLN dalam mensuplai beban 10.5 MW. Pada saat *islanding* semua beban dalam sistem disuplai oleh DG (minihydro dan diesel).

**Tabel 3.5** Data Pembangkitan Sistem

Data Pembangkit	Mode Operasi	Rating	kV	Operasi (MW)
Gen Diesel 1	PF Control	2.18 MW	6.3	1.5
Gen Diesel 2	PF Control	2.18 MW	6.3	1.5
Gen Diesel 3	PF Control	2.18 MW	6.3	1.5
Gen Diesel 4	Voltage Control	2.18 MW	6.3	1.5
MiniHydro 1	PF Control	3.65 MW	6.3	1.5
MiniHydro 2	PF Control	3.65 MW	6.3	1.5
GH Payakumbuh	Swing	997.98 MVA	150	1.704

### 3.2.1 Power Grid (GH Payakumbuh PLN)

Dalam sistem *grid-connected*, *microgrid* diintegrasikan dengan jaringan distribusi PLN 150 kV. GH Payakumbuh beroperasi pada mode *swing*. Pada sistem ini GH Payakumbuh PLN diasumsikan sebagai sumber daya yang tak terbatas namun memiliki daya kontrak sebesar 30 MVA. GH Payakumbuh dihubungkan dengan trafo *step-down* berkapasitas 30 MVA untuk menurunkan level tegangan dari 150 kV menjadi 20 kV.

**Tabel 3.6** Parameter Grid PLN

Parameter	Nilai
Rating kV	150 kV
SC Level 3-ph	997.98 MVA
X/R ratio 3-ph	4
Nominal Trafo Distribusi	30 MVA
Frekuensi	50 Hz
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	20 kV

### 3.2.2 Generator Diesel

Jenis DG yang digunakan pada sistem ini adalah generator diesel yang dimodelkan dengan generator sinkron dengan rincian sebagai berikut:

**Tabel 3.7** Parameter Generator Diesel

Parameter	Nilai
Daya Rating (MW)	2.18 MW
Daya Operasi (MW)	1.5 MW
Nominal kV	6.3 kV
Frekuensi	50 Hz
Power Factor (PF)	80 %
Effisiensi	95 %
Jumlah Kutub ( <i>poles</i> )	4

**Tabel 3.7** Parameter Generator Diesel (lanjutan)

Parameter	Nilai
Putaran per menit	1500 rpm
Inertia (H)	1.2 s

Pada simulasi ini digunakan 4 unit DG diesel yang ditambahkan pada feeder POTIN dan Simpang Benteng. Pada kondisi normal keempat DG mensuplai daya sebesar 6 MW ke sistem distribusi.

### 3.2.3 Generator Mini Hydro

Jenis DG mini hydro pada simulasi tugas akhir ini dimodelkan dengan generator sinkron. Berikut parameter mini hydro:

**Tabel 3.8** Parameter Generator Mini Hydro

Parameter	Nilai
Daya Rating (MW)	3.65 MW
Daya Operasi (MW)	1.5 MW
Nominal kV	6.3 kV
Frekuensi	50 Hz
Power Factor (%)	85 %
Effisiensi (%)	95 %
Jumlah Kutub ( <i>poles</i> )	10
Putaran per menit	600 rpm
Inertia	1.2 s

Pada simulasi ini digunakan 2 unit DG minihydro yang ditambahkan pada feeder Koto Nan 4. Pada kondisi normal kedua DG mensuplai daya sebesar 1.5 MW ke sistem.

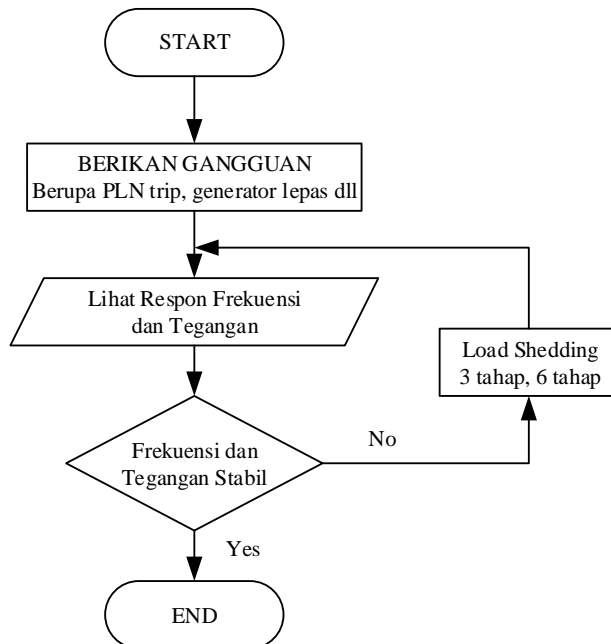
### 3.3 Skema Load Shedding

Pada kondisi tertentu dimana jumlah pembangkitan generator tidak seimbang dengan jumlah kebutuhan beban maka akan terjadi *under frequency*. Untuk mengatasi hal ini maka harus di lepas beban sehingga jumlah beban sama dengan jumlah pembangkitan.

Dengan mengacu pada standar pelepasan beban dapat dirancang suatu skema pelepasan beban pada feeder GH Payakumbuh apabila terjadi ketidakseimbangan jumlah pembangkitan dan konsumsi beban. Beberapa langkah yang harus dilakukan adalah:

1. Membuat kombinasi generator lepas
2. Mengamati penurunan frekuensi yang terjadi.
3. Memilih beban yang harus dilepas berdasarkan prioritas
4. Melakukan pelepasan beban dengan mempertimbangkan *frequency trip point* dan persentase pelepasan beban secara bertahap.
5. Melihat respon pemulihan frekuensi hingga didapatkan frekuensi yang diharapkan

Selanjutnya langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.5** Flowchart Skema Load Shedding

Terdapat dua skema pelepasan beban. Berikut merupakan taeb l skema pelepasan beban 3 tahap dan 6 tahap menurut standar ANSI/IEEE C37.106-1987 yang telah disesuaikan dengan total beban pada sistem yaitu 10.7 MW :

**Tabel 3.9** Skema Pelepasan Beban 3 Tahap

Step	Frequency Trip Point (Hz)	%	Jumlah Load Shedding (MW)	Waktu Delay Relay (detik)
1	49.41	98.83	1.07	0.12
2	49.08	98.16	1.605	0.12
3	48.75	97.5	Sejumlah yang diperlukan sebelum frekuensi 97.5 %	

**Tabel 3.10** Skema Pelepasan Beban 6 Tahap

Step	Frequency Trip Point (Hz)	%	Jumlah Load Shedding (MW)	Waktu Delay Relay (detik)
1	49.6	99.167	1.07	0.12
2	49.3	98.667	1.07	0.12
3	49.0	98	0.535	0.12
4	49.0	98	0.535	0.28
5	48.7	97.333	0.535	0.28
6	48.7	97.333	0.535	0.28

Dalam melakukan *load shedding* secara bertahap, apabila respon sistem telah stabil maka tahap selanjutnya tidak perlu dilakukan.



## BAB 4

### SIMULASI DAN ANALISIS

#### 4.1 Pemodelan Simulasi Sistem Kelistrikan PLN Payakumbuh

Sistem yang digunakan dalam simulasi tugas akhir ini dimodelkan dengan *software* ETAP 12.6.0. Data yang didapatkan pada kondisi real ditambahkan dengan data-data asumsi dari artikel. Data digambarkan dalam *single line diagram* distribusi radial PLN GH Payakumbuh. Sistem ditambahkan 6 unit DG dengan total pembangkitan 12 MW dan total beban 10.5 MW Selanjutnya dilakukan simulasi dengan modul *transient stability* dengan studi kasus yang dibuat. Kemudian akan dianalisis respon tegangan dan frekuensi berdasarkan studi kasus yang dibuat seperti pelepasan generator dan PLN *trip*.

#### 4.2 Studi Kasus Analisis Transien

Setelah semua data dan parameter peralatan telah terpenuhi selanjutnya akan dilakukan simulasi berdasarkan *study case* yang telah dibuat. Simulasi dilakukan pada mode *grid connected*, transisi mode *grid-connected* ke *islanding* dan *islanding*. Pada simulasi *transient stability* akan diamati dan dianalisis respon frekuensi dan tegangan. Standar batas kestabilan frekuensi mengacu pada standar IEEE/C37.106-1987 yaitu 99 % - 101 % dan kestabilan tegangan mengacu standar PLN yaitu +5 %, - 10 %. Pada tabel 4.1 dijelaskan mengenai operasi pembangkit DG yang ditambahkan.

**Tabel 4.1** Data Pembangkitan DG

Data Pembangkit	Rating	kV	Operasi (MW)
Gen Diesel 1	2.18 MW	6.3	1.5
Gen Diesel 2	2.18 MW	6.3	1.5
Gen Diesel 3	2.18 MW	6.3	1.5
Gen Diesel 4	2.18 MW	6.3	1.5
MiniHydro 1	3.65 MW	6.3	1.5
MiniHydro 2	3.65 MW	6.3	1.5
<b>Total</b>			<b>9</b>

### 4.3 Studi Kasus Pada Saat Mode *Grid-Connected*

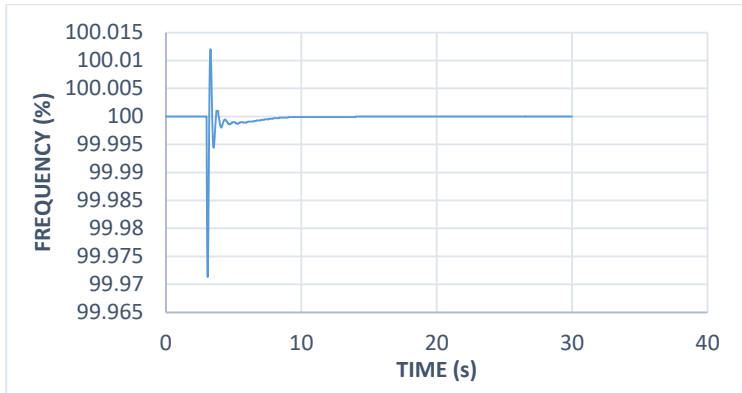
Simulasi pada studi kasus ini akan dilakukan dalam kondisi terkoneksi dengan grid PLN GH Payakumbuh. Beban akan disuplai oleh unit DG dengan dibantu oleh GH Payakumbuh sebagai *swing* generator. Pada kondisi awal grid PLN dan 6 unit DG aktif mensuplai beban, kemudian diberikan gangguan berupa generator DG lepas saat terhubung ke grid. Selanjutnya akan diamati respon kestabilan frekuensi dan tegangan.

**Tabel 4.2** Studi Kasus Pada Mode Terkoneksi Grid (*Grid-Connected*)

Nama Kasus	Keterangan	Waktu Trip
GC_5DG	Generator Diesel_1 trip	Pada detik ke-3
GC_4DG	Generator Diesel_1 dan Diesel_3 trip bersamaan	Pada detik ke-3
GC_2DG	Generator Diesel_1, Diesel_2, Diesel_3 dan Diesel_4 trip bersamaan	Pada detik ke-3

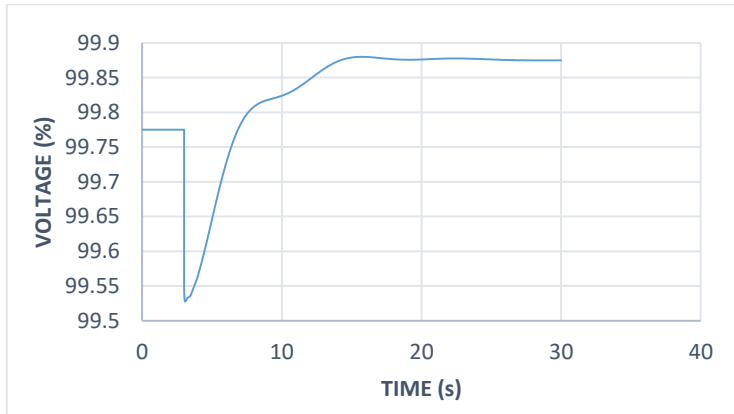
#### 4.3.1 Studi Kasus GC\_5DG Pada Saat *Grid-Connected*

Pada kasus ini dilakukan simulasi saat mode *grid-connected* (terhubung ke grid PLN). Kondisi awal semua DG On, kemudian dilihat respon frekuensi dan tegangan pada saat satu DG lepas yaitu diesel\_1 berkapasitas 1.5 MW. Tujuannya adalah untuk melihat respon kestabilan frekuensi dan tegangan saat pembangkitan DG berkurang. Berikut hasil simulasi sistem saat generator diesel\_1 dilepas pada detik ke 3.



**Gambar 4.1** Respon Frekuensi Bus 63 Terhadap Pelepasan 1 Unit Generator Saat *Grid-Connected*

Dari hasil simulasi, didapatkan respon frekuensi sistem seperti gambar 4.1. Pada detik ketiga setelah generator diesel\_1 dilepas maka frekuensi sistem turun karena turunnya jumlah pembangkitan. Frekuensi mengalami osilasi ringan selama lebih kurang 3 detik sebelum akhirnya kembali ke posisi *steady state*. Frekuensi terendah terjadi pada waktu 3.081 detik yaitu sebesar 99.971 % dan frekuensi tertinggi pada waktu 3.261 detik sebesar 100.01 %. Osilasi frekuensi ini masih diizinkan sesuai dengan standar IEEE/C37.106-1987. Dari hasil ini didapatkan respon frekuensi yang stabil apabila satu DG lepas yaitu diesel 1 dengan jumlah pembangkitan 1.5 MW. Bisa dikatakan lepasnya generator tidak terlalu berpengaruh pada kestabilan sistem. Hal ini karena pada saat generator lepas maka suplai DG yang lepas akan ditanggung oleh grid PLN. Jumlah pembangkitan DG lain akan mengalami perubahan namun dapat kembali dengan cepat akibat dukungan dari grid utama serta kerja *governor* yang menyebabkan frekuensi dapat kembali stabil dalam waktu yang cepat.

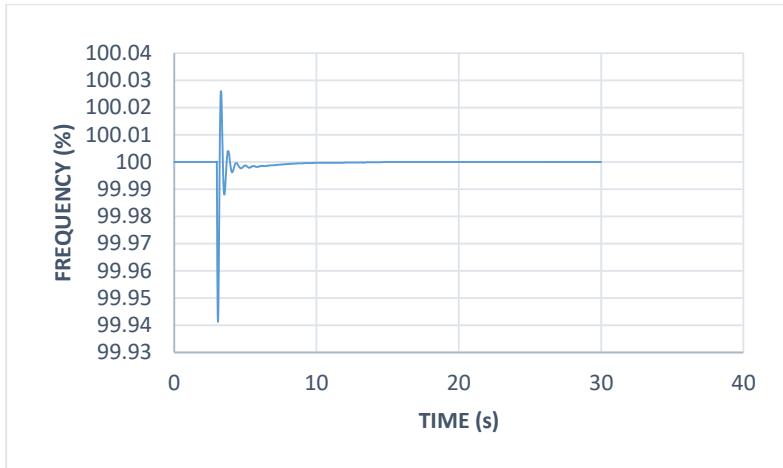


**Gambar 4.2** Respon Tegangan Bus 63 Terhadap Pelepasan 1 Unit Generator Saat *Grid-Connected*

Kemudian dari hasil simulasi didapatkan respon tegangan terhadap lepasnya DG diesel\_1 dengan pembangkitan 1.5 MW. Diamati respon tegangan pada bus terdekat tempat menempelnya generator diesel\_1 yaitu bus 63 pada gambar 4.2. Pada detik 3.261 terjadi penurunan level tegangan mencapai 99.528 % karena jumlah pembangkitan berkurang namun tegangan dapat kembali *steady state*. Penurunan level tegangan masih dalam batas yang diizinkan yaitu -10 %. Sistem masih berada pada batas normal karena suplai dapat dijaga oleh grid dan DG lainnya. Kerja *exciter* membuat tegangan dapat kembali stabil dengan cepat saat terjadi keadaan transien.

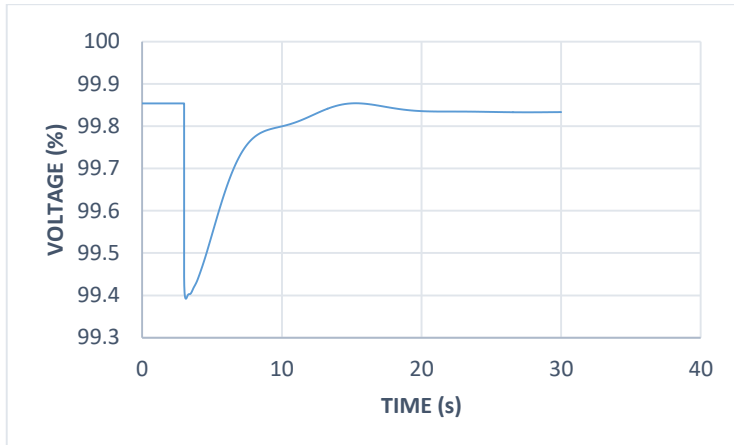
#### 4.3.2 Studi Kasus GC\_4DG Pada Saat *Grid-Connected*

Pada kasus ini simulasi dilakukan dengan kondisi *grid-connected* dan dari 6 unit DG, 2 unit DG lepas pada detik ke-3. Kondisi sistem mengalami gangguan sehingga DG yang lepas adalah diesel\_1 dan diesel\_3. Tujuannya akan dilihat apakah respon frekuensi dan tegangan akan stabil apabila terjadi penurunan jumlah pembangkitan sebesar 3 MW dari 2 unit DG yang lepas.



**Gambar 4.3** Respon Frekuensi Bus 63 Terhadap Pelepasan 2 Unit Generator Saat *Grid-Connected*

Dari hasil simulasi didapatkan respon frekuensi saat 2 unit DG lepas dengan jumlah pembangkitan yang lepas 3 MW. Frekuensi mengalami osilasi setelah generator dilepas. Frekuensi terendah yaitu 99.941 % pada waktu 3.081 detik. Frekuensi tertinggi yaitu 100.03 % pada 3.281 detik. Frekuensi sistem dapat kembali stabil pada detik ke-5. Dari hasil ini didapatkan sistem yang tetap stabil apabila terjadi pelepasan 2 unit generator. Disimpulkan lepasnya generator tidak terlalu berpengaruh pada kestabilan sistem. Hal ini karena total demand dapat dipenuhi dari grid PLN sebagai sumber tak terbatas. Terlihat frekuensi masih dalam batas normal sehingga tidak diperlukan tindakan lebih lanjut. Dari standar kestabilan yang dipakai, sistem dikatakan stabil frekuensinya karena masih dalam batas frekuensi operasi yang diizinkan yaitu *continuous frequency operation*.

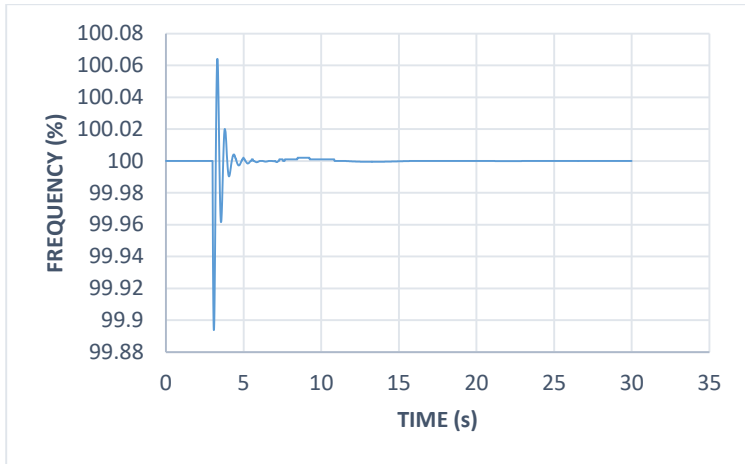


**Gambar 4.4** Respon Tegangan Bus 63 Terhadap Pelepasan 2 Unit Generator Saat *Grid-Connected*

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa respon tegangan pada bus tempat menempelnya DG yang trip mengalami penurunan level tegangan. Dari bus yang diamati tegangan sempat turun hingga 99.39 % pada detik 3.141 detik. Penurunan tegangan terjadi akibat hilangnya suplai pembangkitan sebesar 3 MW pada detik ke-3, namun tegangan sistem berangsur-angsur naik hingga mencapai keadaan *steady state* pada level 99.8 %. Penurunan tegangan ini masih berada pada batas normal yang diizinkan PLN yaitu -10 %. Dapat disimpulkan sistem masih berada pada kondisi stabil apabila kehilangan pembangkitan sebesar 3 MW. Hal ini dapat disebabkan oleh dukungan dari grid PLN yang menanggung kekurangan daya dari sistem dan PLN sebagai referensi menyebabkan tegangan pada bus di bawahnya akan mengikuti tegangan referensi. Selain itu, kerja dari *exciter* juga membuat tegangan dapat kembali stabil dalam waktu yang relatif singkat.

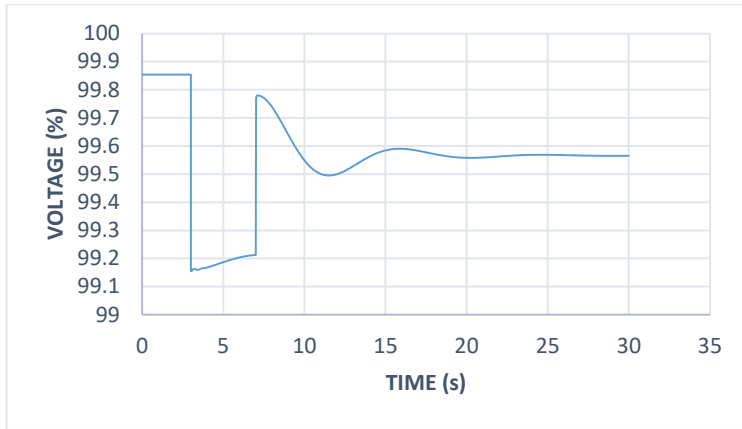
#### 4.3.3 Studi Kasus GC\_2DG Pada Saat *Grid-Connected*

Pada kasus ini akan disimulasikan sistem pada kondisi *ekstrem* yaitu kehilangan 4 unit DG sebesar total pembangkitan 6 MW. Hanya 2 DG yang mensuplai beban ditambah dengan grid PLN.



**Gambar 4.5** Respon Frekuensi Bus 63 Terhadap Pelepasan 4 Unit Generator Saat *Grid-Connected*

Dari hasil simulasi pada gambar 4.5 didapatkan respon frekuensi saat 4 unit DG lepas dengan jumlah pembangkitan yang lepas 6 MW. Sebelum terjadi generator lepas pada detik ke-3 frekuensi sistem masih berada di 100 %. Setelah terjadi gangguan maka terjadi penurunan frekuensi dan terjadi osilasi namun masih dalam batas normal. Frekuensi berosilasi pada rentang 99.89 % -100.06 %. Perlahan frekuensi sistem berangsur stabil di angka 100 %. Hal ini disebabkan oleh adanya grid PLN yang menanggung kekurangan daya yang hilang akibat generator trip. Dari respon frekuensi ini maka disimpulkan sistem akan tetap stabil jika terjadi kehilangan pembangkitan 4 unit DG sehingga tidak diperlukan tindakan lebih lanjut.



**Gambar 4.6** Respon Tegangan Bus 63 Terhadap Pelepasan 4 Unit Generator Saat *Grid-Connected*

Kemudian untuk respon tegangan terjadi penurunan terendah hingga 99.15 % dan beresilasi hingga mencapai *steady state* pada 99.56 %. Hal ini masih diizinkan karena belum melewati batas normal. Namun dibandingkan kasus sebelumnya penurunan level tegangan pada kasus 4 DG trip ini adalah paling besar. Karena jumlah pembangkitan yang hilang juga semakin besar. Dapat disimpulkan sistem tetap stabil apabila 4 unit DG mati secara bersamaan akibat gangguan, hal ini disebabkan masih adanya dukungan grid yang berfungsi sebagai referensi (*swing*).

#### 4.4 Studi Kasus Pada Saat Transisi dari Mode *Grid-Connected* ke *Islanding*

Simulasi pada kasus ini akan dilakukan dalam kondisi transisi antara mode *grid-connected* dengan *islanding*. Pada kondisi awal sistem akan disuplai oleh grid PLN dan sejumlah DG. Kemudian pada detik ke-3, PLN akan trip dan beban akan disuplai oleh DG. Tujuannya adalah untuk mendapatkan jumlah pembebanan yang sesuai apabila terjadi PLN trip dan kombinasi DG yang aktif. Serta melihat respon frekuensi dan tegangan pada saat transisi dari *grid-connected* ke *islanding*.



**Tabel 4.3** Studi Kasus Pada Saat Transisi *Grid-Connected* ke *Islanding*

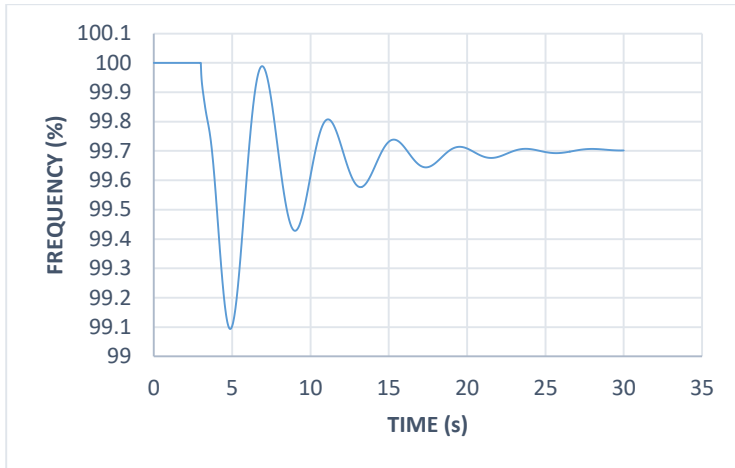
Nama Kasus	Keterangan	Waktu Trip	Beban Lepas (kW)
GOff_6DG	- Kondisi awal 6 DG aktif, PLN aktif - Kemudian PLN trip	PLN trip pada detik ke-3	-
GOff_4DG	- Kondisi awal 4 DG aktif, PLN aktif -Diesel_1 dan diesel_2 mati diawal $t=0$ - Kemudian PLN trip	PLN trip pada detik ke-3	-
GOff_4DGLS1	- CB 11 Open - CB 13 Open - CB 18 Open - CB 20 Open - CB 21 Open - CB 30 Open - CB 60 Open	Detik 3.261	1082.062
GOff_3DG	- Kondisi awal 3 DG aktif, PLN aktif - Diesel_1, diesel_2, diesel_3 mati diawal $t=0$ - Kemudian PLN trip	PLN trip pada detik ke-3	-
GOff_3DGLS1	- CB 11 Open - CB 13 Open - CB 18 Open - CB 20 Open - CB 21 Open - CB 30 Open - CB 60 Open	Detik 3.201	1082.062

**Tabel 4.3** Studi Kasus Pada Saat Transisi *Grid-Connected* ke *Islanding* (lanjutan)

Nama Kasus	Keterangan	Waktu Trip	Beban Lepas (kW)
GOff_3DGLS2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CB 31 Open</li> <li>- CB 35 Open</li> <li>- CB 37 Open</li> <li>- CB 39 Open</li> <li>- CB 43 Open</li> <li>- CB 45 Open</li> <li>- CB 46 Open</li> <li>- CB 47 Open</li> </ul>	Detik 3.251	1565.408
GOff_3DGLS3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CB 48 Open</li> <li>- CB 50 Open</li> <li>- CB 51 Open</li> <li>- CB 52 Open</li> <li>- CB 53 Open</li> <li>- CB 54 Open</li> </ul>	Detik 3.281	1127.4

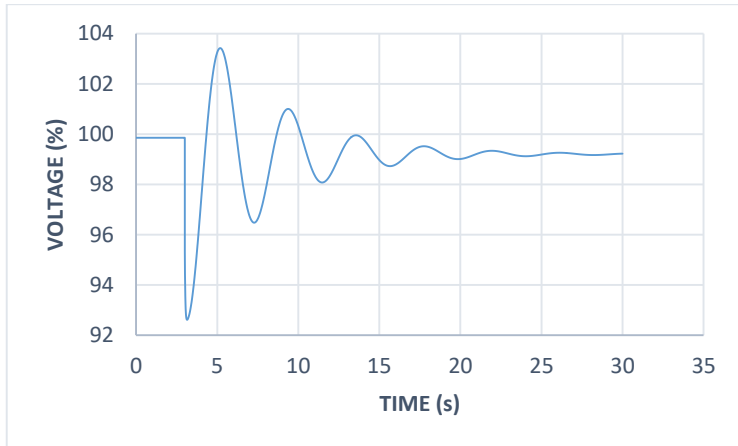
#### 4.4.1 Studi Kasus GOff\_6DG Pada Saat Transisi

Pada simulasi ini akan dilakukan dengan kondisi awal 6 DG aktif dan PLN aktif kemudian pada detik ke-3 suplai PLN diputus dengan cara memutus atau menghapus utility PLN dari simulasi transien. Selanjutnya akan diamati respon frekuensi dan tegangan yang timbul akibat hilangnya suplai PLN. Pada saat PLN (*swing*) diputus maka secara otomatis salah satu DG dari DG yang aktif akan berubah mode operasi menjadi *swing*. Pada simulasi ini yang menjadi *swing*/referensi adalah generator diesel\_2. Berikut hasil simulasi stabilitas transien frekuensi dan tegangan:



**Gambar 4.7** Respon Frekuensi Bus 63 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 6 DG Aktif

Dampak yang ditimbulkan lepasnya grid PLN terhadap frekuensi sistem dapat dilihat pada gambar 4.7. Saat terjadi trip frekuensi pada bus 63 mengalami penurunan hingga nilai 99.09 % pada waktu 4.861 detik. Frekuensi mengalami osilasi namun dapat kembali ke kondisi *steady state* dalam waktu 25 detik pada nilai 99.7 %. Hal ini menunjukkan jumlah total pembangkitan DG saat semua DG aktif lebih besar daripada total beban yang harus disuplai. Untuk menjaga frekuensi tetap stabil maka daya aktif yang dibangkitkan generator meningkat untuk menyesuaikan kebutuhan beban. Daya maksimal yang dapat disuplai generator tergantung karakteristik *droop governor* generator. Dari data bus yang lain juga menunjukkan nilai yang relatif sama dengan bus 63. Dapat disimpulkan kondisi sistem stabil ketika grid diputus dan kondisi DG aktif semuanya.

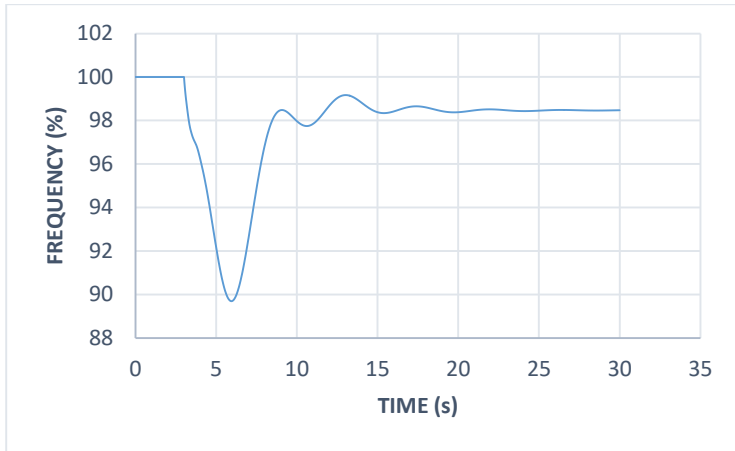


**Gambar 4.8** Respon Tegangan Bus 63 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 6 DG Aktif

Respon tegangan pada simulasi PLN off dan jumlah pembangkitan 6 DG masih berada pada kondisi normal. Sesaat setelah PLN putus maka tegangan akan turun, diakibatkan perubahan yang cepat pada level pembangkitan DG. Pada detik ke-3.141 merupakan drop terbesar yaitu mencapai 92.616 % dan kenaikan terbesar senilai 103.419 % pada detik ke-5.181. Sistem mengalami osilasi karena *exciter* DG mencoba untuk mengembalikan tegangan ke kondisi *steady state*. Menurut PLN hasil simulasi masih berada pada batas yang diizinkan yaitu +5 % dan -10 %. Dapat disimpulkan sistem masih dalam keadaan stabil karena jumlah pembangkitan lebih besar daripada total *demand* sehingga tidak diperlukan tindakan lebih lanjut.

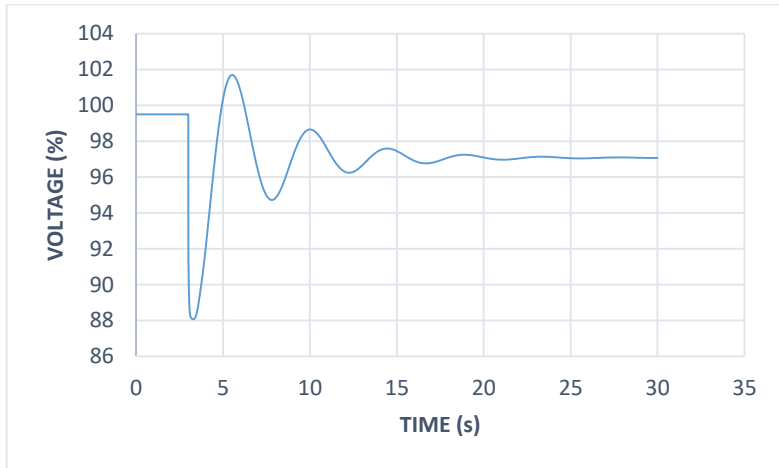
#### 4.4.2 Studi Kasus Goff\_4DG Pada Saat Transisi

Pada simulasi ini akan dilakukan dengan kondisi awal sejumlah 4 unit DG aktif dan PLN aktif kemudian pada detik ke-3 suplai PLN diputus dengan cara memutus atau menghapus utility PLN dari simulasi transien. Selanjutnya akan diamati respon frekuensi dan tegangan yang timbul akibat hilangnya suplai PLN dan kemampuan 4 DG yang aktif dalam mensuplai beban. Berikut hasil simulasi stabilitas transien frekuensi dan tegangan:



**Gambar 4.9** Respon Frekuensi Bus PLTDiesel\_1 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 4 DG Aktif

Pada kondisi beban yang sama simulasi PLN putus saat 4 unit DG aktif hasil simulasinya pada gambar 4.9 . Frekuensi turun setelah grid PLN putus dan mencapai nilai 89.6913 %. Hal ini diakibatkan total *demand* lebih besar dibanding jumlah pembangkitan. Pada frekuensi mencapai 89.69 % ini akan mengakibatkan kerusakan dan *breakdown* secara tiba-tiba dari generator apabila tidak dilakukan *load shedding*. Kebanyakan mesin berputar didesain beroperasi pada frekuensi tertentu untuk performa yang optimal. Frekuensi operasi yang berada dibawah 95 % akan mengakibatkan generator tidak aman dan tidak efektif. Operasi dibawah 95 % harus dibatasi pada periode waktu yang sangat singkat. Oleh karena itu pada kasus ini diperlukan skema pelepasan beban untuk meningkatkan respon frekuensi. Pelepasan beban akan dilakukan dengan 3 tahap berdasarkan penurunan frekuensi.



**Gambar 4.10** Respon Tegangan Bus PLTDiesel\_1 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 4 DG Aktif

Pada respon tegangan terjadi fenomena *voltage sags* dimana tegangan berada pada nilai dibawah 90 %. *Voltage sag* yang terjadi berlangsung selama 0.72 detik yang berarti berdasarkan standar IEEE 1159-195 dapat digolongkan gangguan bersifat *momentary* yang berlangsung selama 0.6 – 3 detik. Dengan hasil ini maka diperlukan skema *load shedding* untuk menaikkan respon tegangan. Skema *load shedding* 3 tahap dilakukan pada simulasi berikutnya.

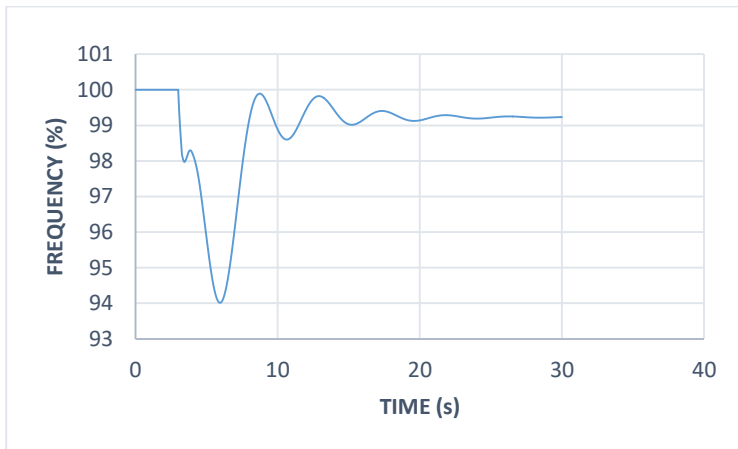
#### 4.4.2.1 GOff\_4DG Load Shedding Tahap 1

Akibat hilangnya jumlah pembangkitan yang menyebabkan buruknya respon frekuensi dan tegangan maka akan dilakukan skema pelepasan beban *load shedding* 3 tahap. Pelepasan beban bertujuan untuk menjaga kestabilan sistem dalam kondisi kekurangan suplai daya. Pelepasan beban dilakukan berdasarkan respon *under-frequency*. Berikut tahapan pelepasan beban berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987:

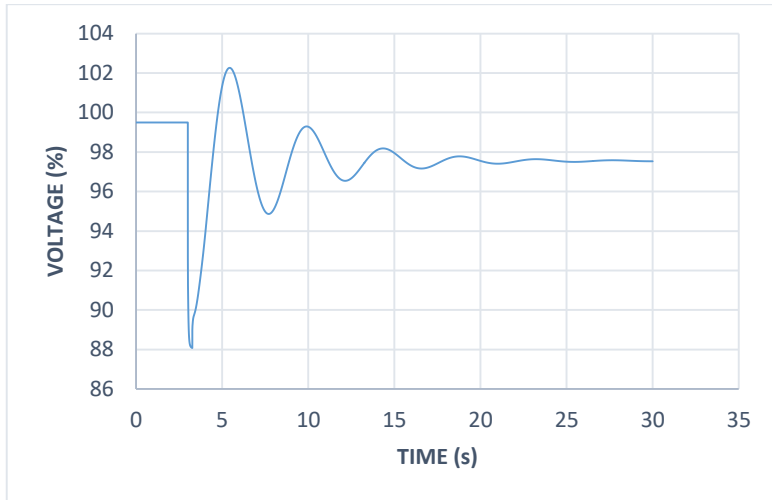
**Tabel 4.4** Skema Pelepasan Beban 3 Tahap Kasus GOff\_4DG

Step	Frequency Trip Point (Hz)	%	Jumlah Load Shedding (kW)	Waktu (detik)
1	49.41	98.83	1082.062	3.261
2	49.08	98.16	1565.408	3.381
3	48.75	97.5	-	-
<b>TOTAL</b>			<b>2647.47</b>	

Pada pelepasan beban 3 tahap, *load shedding* pertama dilakukan ketika frekuensi 98.83 %, besar beban yang dilepas adalah 10 % dari total beban dan waktu membuka CB 0.12 detik. Apabila sistem belum stabil selanjutnya *load shedding* kedua ketika frekuensi 98.16 % besar beban yang dilepas 15 % dari total beban. Berikut hasil *load shedding* tahap 1:

**Gambar 4.11** Respon Frekuensi GOff\_4DG Load Shedding 1

Pada gambar 4.11 didapatkan frekuensi naik menjadi 94.013 % akibat lepas beban sebesar 1.082 MW. Namun, masih diperlukan *load shedding* tahap 2 agar respon frekuensi berada diatas 95 %.



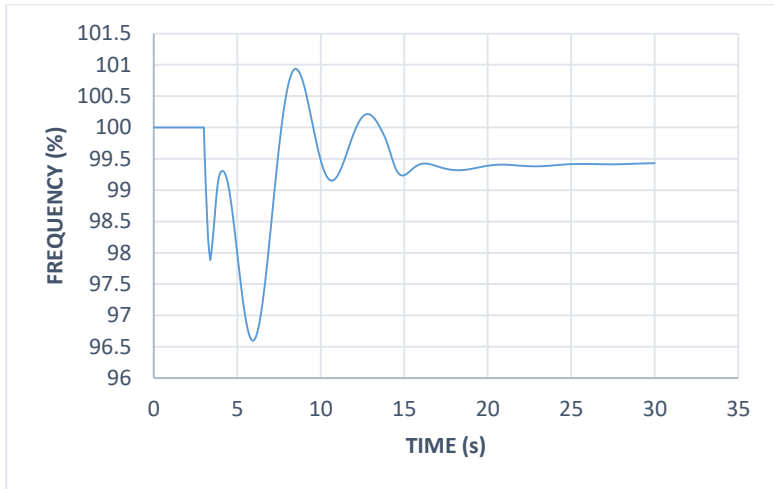
**Gambar 4.12** Respon Tegangan GOff\_4DG Load Shedding 1

Respon tegangan tidak banyak berubah hanya pada kondisi *steady state* naik menjadi 97.5 %. Masih terjadi *voltage sag* namun dengan waktu 0.601 detik yang tergolong gangguan bersifat *momentary*. Untuk itu diperlukan pelepasan beban tahap kedua untuk menaikkan respon tegangan sistem.

#### 4.4.2.2 GOff\_4DG Load Shedding Tahap 2

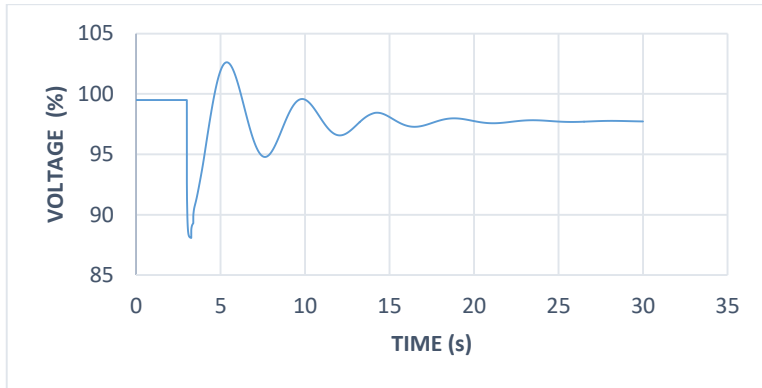
Dilakukan *load shedding* tahap 2 jumlah beban yang dilepas yaitu 1.565 MW pada detik ke-3.381. pelepasan beban dilakukan untuk menyesuaikan antara kebutuhan beban dan total pembangkitan saat terjadi kondisi DG yang aktif hanya 4 DG saat kondisi transisi. Pelepasan beban tergantung pada penurunan frekuensi sistem. Maka akan diamati respon frekuensi dan tegangan setelah dilakukan 2 tahap *load shedding*.





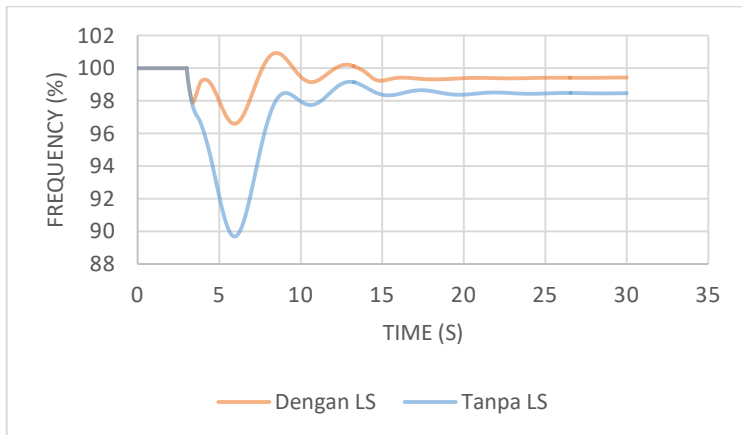
**Gambar 4.13** Respon Frekuensi GOff\_4DG *Load Shedding* 2

Dari gambar 4.13 diatas dapat diamati frekuensi sistem naik akibat *load shedding* sehingga turunnya frekuensi hanya sampai 96.59 %. Bila dibandingkan dengan kondisi tanpa *load shedding* respon frekuensi meningkat sebesar total 6.9 % akibat lepas beban sebanyak 2.647 MW. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan sistem telah stabil pada saat *load shedding* tahap kedua, sehingga tidak diperlukan *load shedding* tahap ketiga.



**Gambar 4.14** Respon Tegangan GOff\_4DG Load Shedding 2

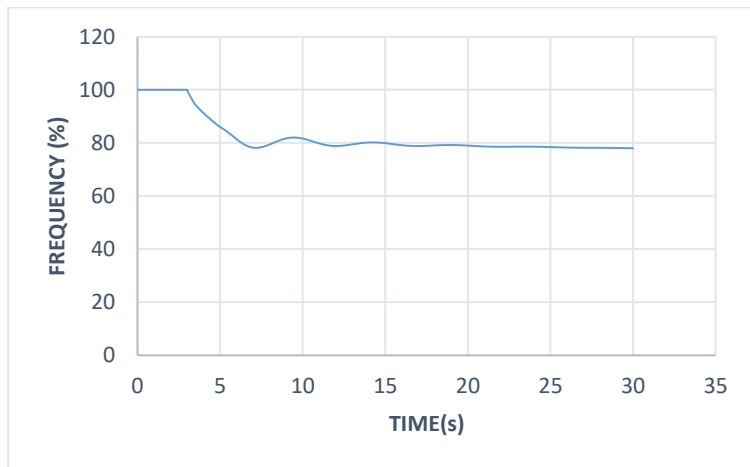
Respon tegangan sistem pada kondisi *steady state* naik menjadi 97.7 %. Bila dibandingkan dengan kondisi tanpa *load shedding* yaitu 97.0 % Masih terjadi *voltage sag* namun dengan waktu 0.481 detik yang tergolong gangguan bersifat *instaneous*. Dengan adanya *load shedding* (LS) sistem lebih stabil dan nilai tegangan dapat mencapai keadaan *steady state*. Berikut perbandingan frekuensi tanpa *load shedding* dan dengan *load shedding*.



**Gambar 4.15** Perbandingan Respon Frekuensi Dengan LS dan Tanpa LS

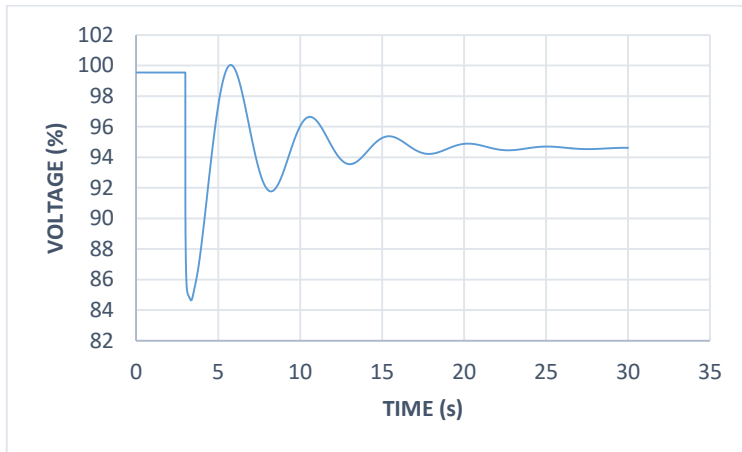
#### 4.4.3 Studi Kasus GOff\_3DG Pada Saat Transisi

Pada simulasi ini akan dilakukan dengan kondisi awal sejumlah 3 unit DG aktif dan PLN aktif kemudian pada detik ke-3 suplai PLN diputus dengan cara memutus atau menghapus utility PLN dari simulasi transien. Selanjutnya akan diamati respon frekuensi dan tegangan yang timbul akibat hilangnya suplai PLN dan kemampuan 3 DG yang aktif dalam mensuplai beban. Berikut hasil simulasi stabilitas transien frekuensi dan tegangan:



**Gambar 4.16** Respon Frekuensi Bus PLTDiesel\_1 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 3 DG Aktif

Tanpa ada skema *load shedding* beban yang terhubung menyebabkan frekuensi jatuh mencapai 77.97 %. Pada gambar 4.16 jelas frekuensi gagal kembali ke nilai *steady state*. Kelebihan total beban yang tidak sebanding dengan total pembangkitan. Pada kasus ini sesuai standar proteksi generator relay *under-frequency* telah bekerja saat frekuensi mencapai di bawah 95 %. Operasi dibawah 95 % harus dibatasi pada periode waktu yang sangat singkat. Oleh karena itu pada kasus ini diperlukan skema pelepasan beban untuk meningkatkan respon frekuensi. Pelepasan beban akan dilakukan dengan 3 tahap berdasarkan penurunan frekuensi.



**Gambar 4.17** Respon Tegangan Bus PLTDiesel\_1 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 3 DG Aktif

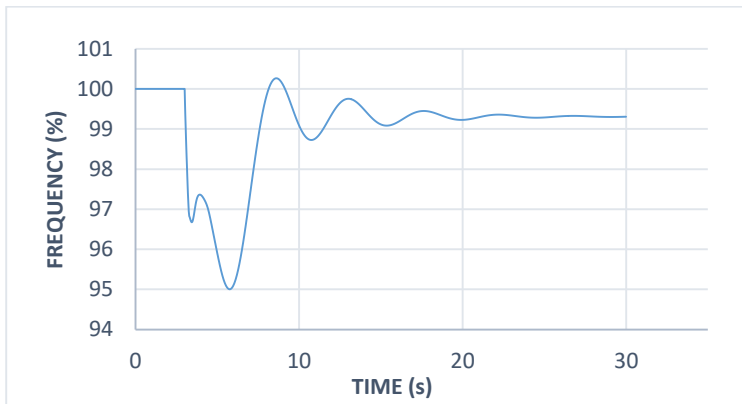
Tegangan pada gambar 4.17 juga menunjukkan fenomena *voltage sag* selama 1.26 detik bersifat *momentary*, tegangan mencapai nilai 84.64 %. Hal ini diakibatkan pembangkitan yang lebih kecil dibandingkan total beban. Pada kasus ini diperlukan pelepasan sejumlah beban untuk meningkatkan respon tegangan sistem dan menyesuaikan dengan jumlah pembangkitan.

#### 4.4.3.1 GOff\_3DG Dengan *Load Shedding* 3 Tahap

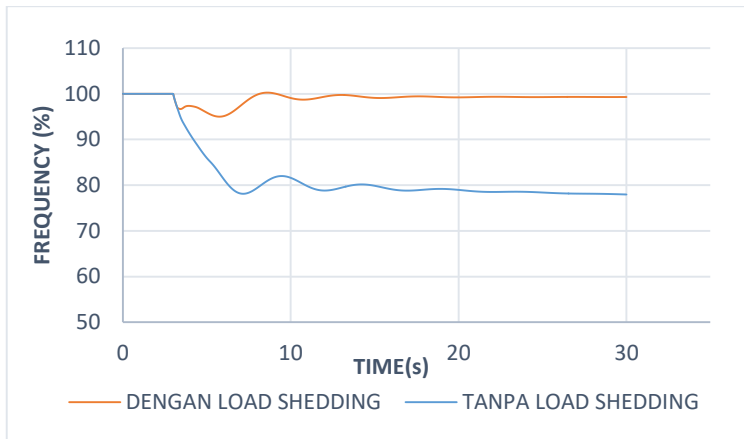
Pada pelepasan beban 3 tahap, *load shedding* pertama dilakukan ketika frekuensi 98.83 %, besar beban yang dilepas adalah 10 % dari total beban dan waktu membuka CB 0.12 detik. Apabila sistem belum stabil selanjutnya *load shedding* kedua ketika frekuensi 98.16 % besar beban yang dilepas 15 % dari total beban. Apabila sistem masih belum stabil maka dilakukan *load shedding* ketiga saat frekuensi mencapai 97.5 %, besar beban yang dilepas yaitu sebanyak yang diperlukan untuk mencapai sistem yang stabil. Berikut skema *load shedding* 3 tahap pada kasus GOff\_3DG.

**Tabel 4.5** Skema Pelepasan Beban 3 Tahap Kasus GOff\_3DG

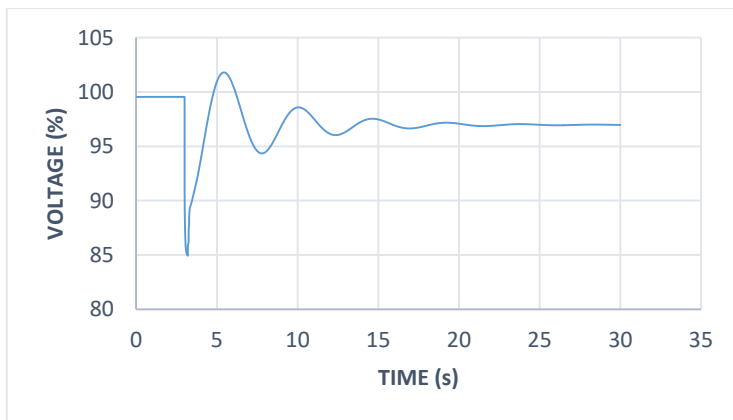
Step	Frequency Trip Point (Hz)	%	Jumlah Load Shedding (kW)	Waktu (detik)
1	49.41	98.83	1082.062	3.201
2	49.08	98.16	1565.408	3.251
3	48.75	97.5	1127.4	3.281
TOTAL			3774.87	-

**Gambar 4.18** Respon Frekuensi Bus PLTDiesel\_1 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 3 DG Aktif Setelah *Load Shedding* 3 Tahap

Ketika *load shedding* diaplikasikan pada sistem maka respon frekuensi berangsur pulih menuju nilai yang stabil hingga keadaan *steady state* mencapai 99.3 %. Turunnya frekuensi setelah *load shedding* mencapai nilai 95 %. Bila dibandingkan dengan kondisi tanpa load shedding yaitu 77.97 % maka terjadi peningkatan respon frekuensi sebesar 17.03 %. Dengan total beban yang dilepas yaitu 3.774 MW dengan jumlah pembangkitan dari 3 DG mensuplai sisa kebutuhan beban setelah *load shedding*. Berikut perbandingan respon frekuensinya:



**Gambar 4.19** Perbandingan Respon Frekuensi GOff\_3DG Dengan LS dan Tanpa LS



**Gambar 4.20** Respon Tegangan Bus PLTDiesel\_1 Terhadap Lepasnya Suplai PLN Saat 3 DG Aktif Setelah *Load Shedding* 3 Tahap

Pada gambar 4.20 respon tegangan sistem pada kondisi *steady state* naik menjadi 96.9 %. Masih terjadi *voltage sag* mencapai 84.92 % namun dengan waktu yang lebih singkat yaitu 0.621 detik yang tergolong gangguan bersifat *momentary*. Dengan adanya *load shedding* sistem lebih stabil dan nilai tegangan juga naik saat *steady state*.

#### 4.5 Studi Kasus Pada Saat Mode *Islanding* Kondisi Pembangkitan Lebih Kecil dari Total Beban

Simulasi pada studi kasus ini akan dilakukan dalam kondisi terputus koneksi dengan grid PLN GH Payakumbuh. Beban sepenuhnya akan disuplai oleh 6 unit DG sebagai dan salah satu DG beroperasi sebagai *swing* generator yaitu generator Minihydro\_2. Pada kondisi awal grid PLN putus dengan cara membuka *circuit breaker* yang menghubungkan grid ke bus utama dan 6 unit DG aktif mensuplai beban, kemudian diberikan gangguan berupa generator DG lepas. Tujuannya adalah untuk mendapatkan total beban yang dapat disuplai pada keadaan *Islanding* dengan kombinasi DG yang aktif. Selanjutnya akan diamati respon kestabilan frekuensi dan tegangan.

**Tabel 4.6** Studi Kasus Pada *Islanding*

Nama Kasus	Keterangan	Waktu Trip	Beban Lepas (kW)
I_5DG	- Kondisi awal 6 DG ON, PLN OFF - Kemudian generator Diesel_1 trip	Pada detik ke-3	-
I_4DG	- Kondisi awal 6 DG ON, PLN OFF - Kemudian Diesel_1 dan Diesel_2 trip bersamaan	Pada detik ke-3	-
I_4DGLS1	- CB 11 Open - CB 13 Open - CB 18 Open - CB 20 Open - CB 21 Open - CB 30 Open - CB 60 Open	Detik 3.361	1082.062
I_3DG	- - Kondisi awal 6 DG ON, PLN OFF - Kemudian Diesel_1, Diesel_2 dan Diesel_3 trip bersamaan	Pada detik ke-3	-

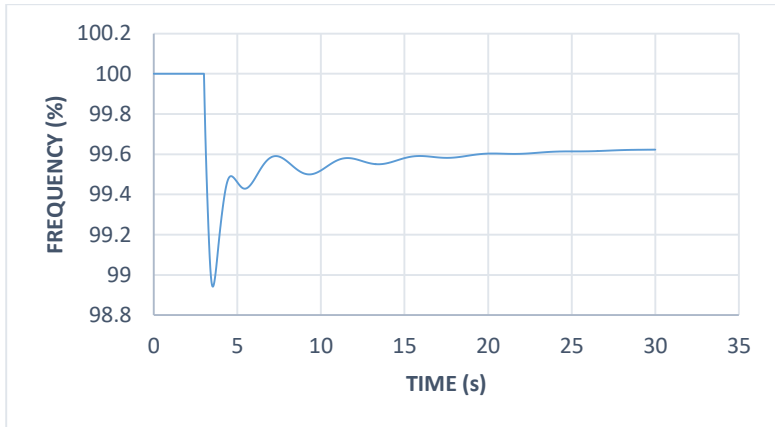
**Tabel 4.6** Studi Kasus Pada *Islanding* (lanjutan)

Nama Kasus	Keterangan	Waktu Trip	Beban Lepas (kW)
I_3DGLS1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CB 11 Open</li> <li>- CB 13 Open</li> <li>- CB 18 Open</li> <li>- CB 20 Open</li> <li>- CB 21 Open</li> <li>- CB 30 Open</li> <li>- CB 60 Open</li> </ul>	Detik 3.221	1082.062
I_3DGLS2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CB 31 Open</li> <li>- CB 35 Open</li> <li>- CB 37 Open</li> <li>- CB 39 Open</li> <li>- CB 43 Open</li> <li>- CB 45 Open</li> <li>- CB 46 Open</li> <li>- CB 47 Open</li> </ul>	Detik 3.301	1565.408

#### 4.5.1 Studi Kasus I\_5DG Pada Saat *Islanding*

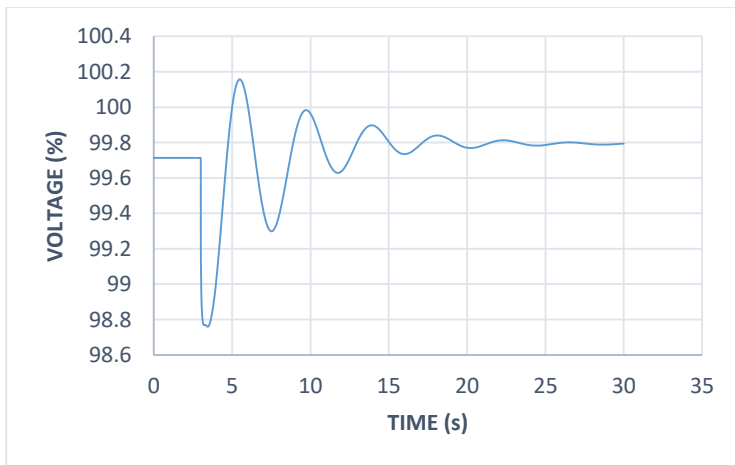
Pada kasus ini dilakukan simulasi saat mode *islanding*. Kondisi awal semua DG On, kemudian dilihat respon frekuensi dan tegangan pada saat satu unit DG lepas yaitu diesel\_1 berkapasitas 1.5 MW. Tujuannya adalah untuk melihat respon kestabilan frekuensi dan tegangan saat pembangkitan DG berkurang. Berikut hasil simulasi sistem saat generator diesel\_1 dilepas pada detik ke 3.





**Gambar 4.20** Respon Frekuensi Bus 63 I\_5DG Saat *Islanding*

Dari hasil simulasi respon frekuensi terhadap lepasnya satu generator berkapasitas 1.5 MW tidak berpengaruh signifikan terhadap kestabilan frekuensi. Setelah generator lepas, frekuensi mengalami osilasi dan mampu mencapai kondisi *steady state* pada nilai 99.6 %.

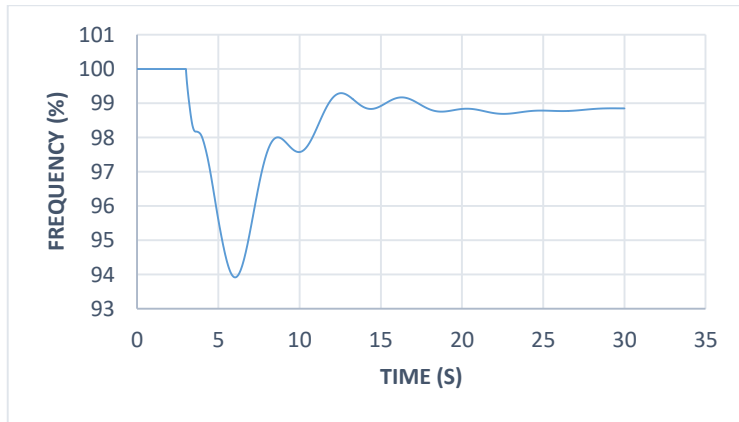


**Gambar 4.21** Respon Frekuensi Bus 63 I\_5DG Saat *Islanding*

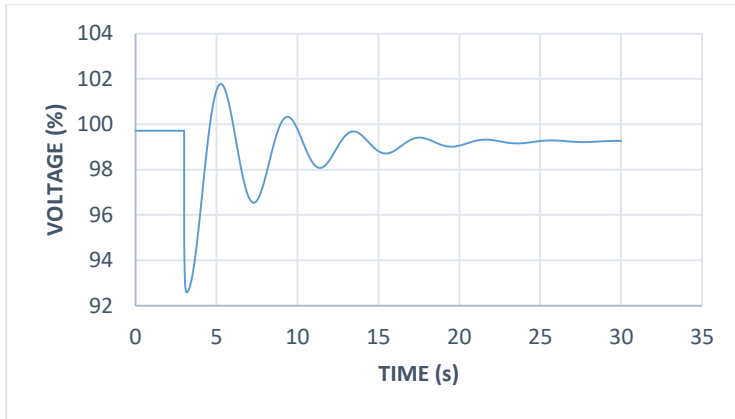
Kemudian dari hasil simulasi didapatkan respon tegangan terhadap lepasnya DG diesel\_1 dengan pembangkitan 1.5 MW. Diamati respon tegangan pada bus terdekat tempat menempelnya generator diesel\_1 yaitu bus 63 pada gambar 4.21. Terjadi penurunan level tegangan mencapai 98.77 % karena jumlah pembangkitan berkurang namun tegangan dapat kembali *steady state*. Penurunan level tegangan masih dalam batas yang diizinkan yaitu -10 %. Sistem masih berada pada batas normal karena suplai dapat dijaga oleh grid dan DG lainnya.

#### 4.5.2 Studi Kasus I\_4DG Pada Saat *Islanding*

Pada kasus ini dilakukan simulasi saat mode *islanding*. Kondisi awal semua DG On, suplai PLN Off kemudian dilihat respon frekuensi dan tegangan pada saat dua DG lepas yaitu diesel\_1 dan diesel\_2 berkapasitas total pembangkitan 3 MW. Tujuannya adalah untuk melihat respon kestabilan frekuensi dan tegangan saat pembangkitan DG berkurang cukup banyak. Berikut hasil simulasi sistem kasus I\_4DG:



**Gambar 4.22** Respon Frekuensi Bus 63 Kasus I\_4DG Saat *Islanding*

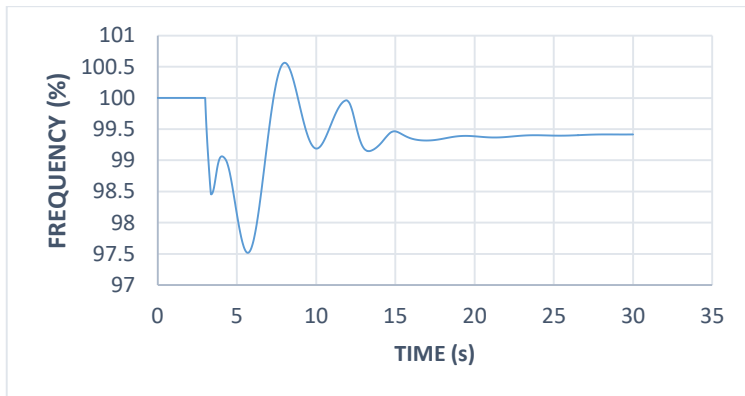


**Gambar 4.23** Respon Tegangan Bus 63 Kasus I\_4DG Saat *Islanding*

Dari hasil simulasi I\_4DG gambar 4.22 dimana hilangnya pembangkitan sebesar 3 MW membuat frekuensi turun hingga 93.919 %. Penurunan ini diakibatkan total beban yang lebih besar daripada total pembangkitan. Respon ini menyebabkan operasi yang tidak aman untuk generator saat frekuensi berada dibawah 95 %, karena pada umumnya relay *under-frequency* akan bekerja. Untuk meningkatkan respon sistem maka perlu adanya pelepasan beban. Dari gambar 4.23 respon tegangan sudah cukup baik yaitu tegangan sempat turun hingga 92.58 % namun dapat kembali stabil ke kondisi *steady state* 99.2 %. Osilasi ini disebabkan oleh perubahan jumlah pembangkitan yang cepat pada DG yang masih aktif.

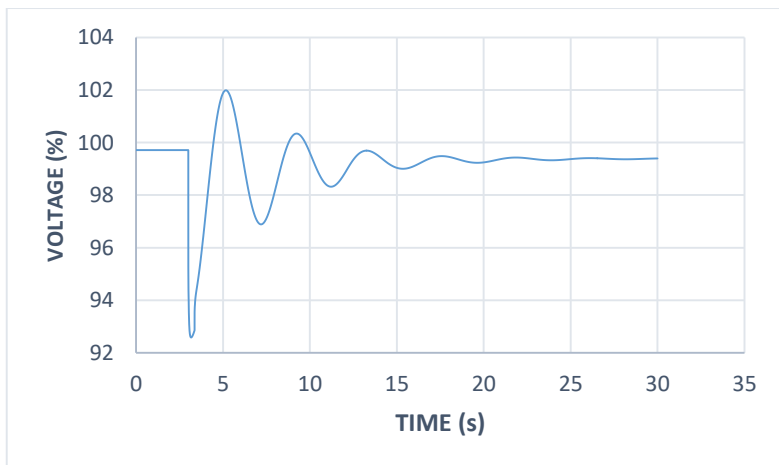
#### 4.5.2.1 Studi Kasus I\_4DG Pada Saat *Islanding* Dengan Load Shedding

Untuk meningkatkan respon frekuensi maka akan dilakukan pelepasan beban secara bertahap. Berikut respon frekuensi dan tegangan setelah dilakukan *shedding* tahap 1:



**Gambar 4.24** Respon Frekuensi Bus 63 Kasus I\_4DG Saat *Islanding* Dengan *Load Shedding*

Dengan melepas sejumlah beban saat *load shedding* tahap 1 didapatkan respon frekuensi yang lebih baik. Sebesar 1.082 MW beban dilepas pada detik ke-3.361 menyebabkan turunnya frekuensi sistem menjadi 97.5 % dari sebelumnya tanpa *load shedding* sebesar 93.7 %. Respon ini naik 3.6 % dibanding tanpa *load shedding*.



**Gambar 4.25** Respon Tegangan Bus 63 Kasus I\_4DG Saat *Islanding* Dengan *Load Shedding*

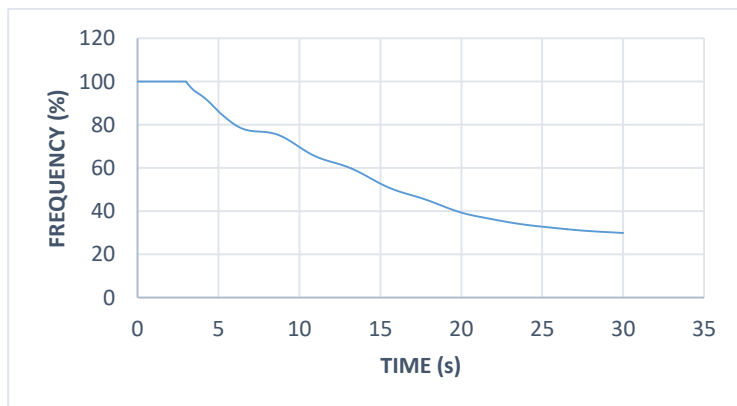
Pada gambar 4.25 tegangan mengalami drop namun masih dalam batas yang diizinkan yaitu -10 %. Dapat disimpulkan sistem stabil saat *load shedding* tahap 1 sehingga tidak diperlukan *load shedding* tahap selanjutnya. Berikut skema pelepasan beban 3 tahap pada kasus I\_4DG:

**Tabel 4.7** Skema Pelepasan Beban 3 Tahap Kasus I\_4DG

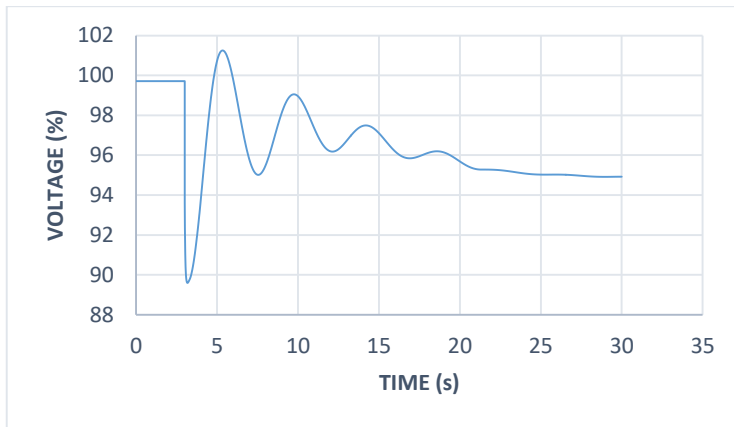
Step	Frequency Trip Point (Hz)	%	Jumlah Load Shedding (kW)	Waktu (detik)
1	49.41	98.83	1082.062	3.361
2	49.08	98.16	-	-
3	48.75	97.5	-	-
TOTAL			1082.062	-

#### 4.5.3 Studi Kasus I\_3DG Pada Saat *Islanding*

Pada kasus ini kondisi awal semua DG On, suplai PLN Off kemudian dilihat respon frekuensi dan tegangan pada saat dua DG lepas yaitu diesel\_1 diesel\_2 dan diesel\_3 berkapasitas total pembangkitan 4.5 MW. Tujuannya adalah untuk melihat respon kestabilan frekuensi dan tegangan saat pembangkitan DG berkurang setengah dari total pembangkitan awal. Berikut hasil simulasi sistem kasus I\_3DG:



**Gambar 4.26** Respon Frekuensi Bus 63 Kasus I\_3DG Saat *Islanding*

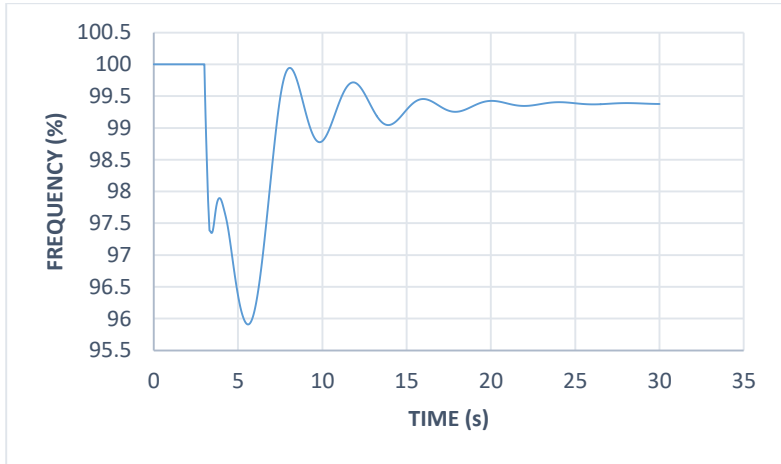


**Gambar 4.27** Respon Tegangan Bus 63 Kasus I\_3DG Saat *Islanding*

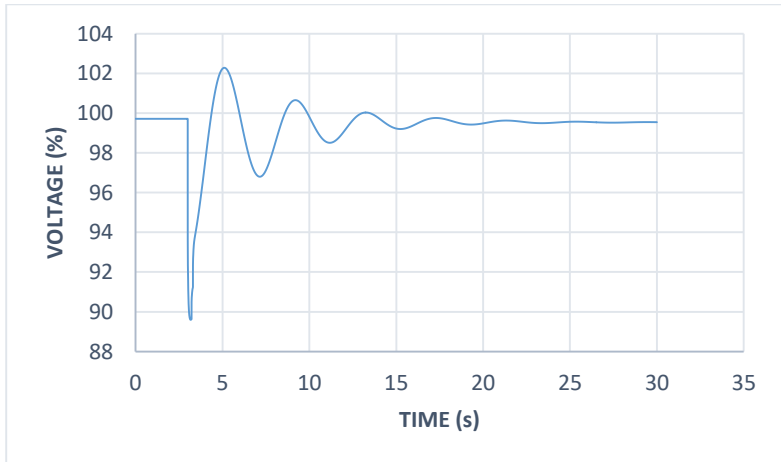
Pada kondisi beban yang sama simulasi 3 unit DG lepas hasil simulasinya pada gambar 4.26 dan 4.27. Frekuensi turun setelah DG lepas dan gagal naik mencapai *steady state*. Hal ini diakibatkan total *demand* lebih besar dibanding jumlah pembangkitan. Pada frekuensi mencapai ini akan mengakibatkan kerusakan dan *breakdown* secara tiba-tiba dari generator apabila tidak dilakukan *load shedding*. Frekuensi operasi yang berada dibawah 95 % akan mengakibatkan generator tidak aman dan tidak efektif. Operasi dibawah 95 % harus dibatasi pada periode waktu yang sangat singkat. Oleh karena itu pada kasus ini diperlukan skema pelepasan beban untuk meningkatkan respon frekuensi. Begitu pula tegangan mengalami penurunan terus setelah 3 DG lepas. Tegangan gagal mencapai kondisi *steady state* yang artinya dibutuhkan *load shedding* agar respon tegangan meningkat.

#### 4.5.3.1 Studi Kasus I\_3DG Pada Saat *Islanding* Dengan *Load Shedding*

Untuk meningkatkan respon frekuensi dan tegangan maka akan dilakukan pelepasan beban secara bertahap. Berikut respon frekuensi dan tegangan setelah dilakukan *load shedding*:



**Gambar 4.28** Respon Frekuensi Bus 63 Kasus I\_3DG Saat *Islanding* Dengan *Load Shedding*



**Gambar 4.29** Respon Tegangan Bus 63 Kasus I\_3DG Saat *Islanding* Dengan *Load Shedding*

Setelah dilakukan *load shedding* maka respon frekuensi dan tegangan pada gambar 4.28 dan 4.29 mengalami peningkatan. Frekuensi mampu bangkit mencapai keadaan *steady state* setelah dilakukan

pelepasan beban dengan 2 kali step sebesar 2.647 MW. Respon frekuensi dan tegangan beresilasi pada nilai yang masih dizinkan. Dapat disimpulkan sistem stabil pada *load shedding* tahap kedua sehingga tidak diperlukan *shedding* tahap ketiga Berikut skema pelepasan beban kasus I\_3DG:

**Tabel 4.8** Skema Pelepasan Beban 3 Tahap Kasus I\_3DG

Step	Frequency Trip Point (Hz)	%	Jumlah Load Shedding (kW)	Waktu (detik)
1	49.41	98.83	1082.062	3.221
2	49.08	98.16	1565.408	3.301
3	48.75	97.5	-	-
TOTAL			2647.5	-

#### 4.6 Studi Kasus Pada Saat Mode *Islanding* Kondisi Pembangkitan Lebih Besar dari Total Beban

Pada Simulasi pada studi kasus ini akan dilakukan dalam kondisi terputus koneksi dengan grid PLN GH Payakumbuh. Beban sepenuhnya akan disuplai oleh 6 unit DG sebagai dan salah satu DG beroperasi sebagai *swing* generator yaitu generator Diesel\_3. Pada simulasi ini operasi dari generator Minihydro akan dinaikkan menjadi 3 MW sehingga ketika *islanding* total beban dapat disuplai seluruhnya oleh DG. Pada kondisi *islanding* akan diberikan gangguan berupa lepasnya generator. Tujuannya adalah untuk mendapatkan total beban yang dapat disuplai pada keadaan *Islanding* dengan kombinasi DG yang aktif. Selanjutnya akan diamati respon kestabilan frekuensi dan tegangan.



**Tabel 4.9** Data Pembangkitan DG

Data Pembangkit	Rating	kV	Operasi (MW)
Gen Diesel 1	2.18 MW	6.3	1.5
Gen Diesel 2	2.18 MW	6.3	1.5
Gen Diesel 3	2.18 MW	6.3	1.5
Gen Diesel 4	2.18 MW	6.3	1.5
MiniHydro 1	3.65 MW	6.3	3
MiniHydro 2	3.65 MW	6.3	3
<b>Total</b>			<b>12</b>

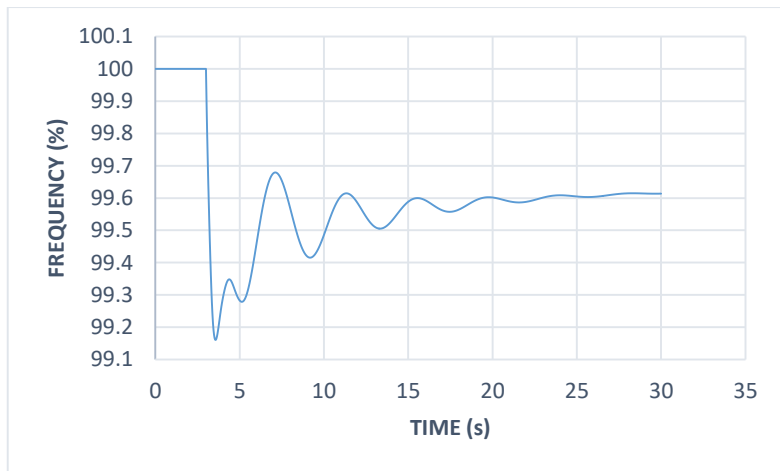
Tabel 4.9 merupakan data pembangkitan yang sudah dinaikkan mode operasinya menjadi total pembangkitan DG sebesar 12 MW. Sedangkan jumlah beban 10.5 MW. Tujuannya adalah agar saat *islanding* jumlah beban yang dilepas tidak terlalu banyak dan pembangkitan dapat dimaksimalkan. Berikut studi kasus yang akan dibahas pada simulasi ini:

**Tabel 4.10** Studi Kasus Saat Islanding Kondisi Pembangkitan Lebih Besar dari Total Beban

Nama Kasus	Keterangan	Waktu Trip	Beban Lepas (kW)
I_5DG	- Kondisi awal 6 DG ON, PLN OFF - Kemudian generator Diesel_1 trip	Pada detik ke-3	-
I_4DG	- Kondisi awal 6 DG ON, PLN OFF - Kemudian Diesel_1 dan Diesel_2 trip bersamaan	Pada detik ke-3	-

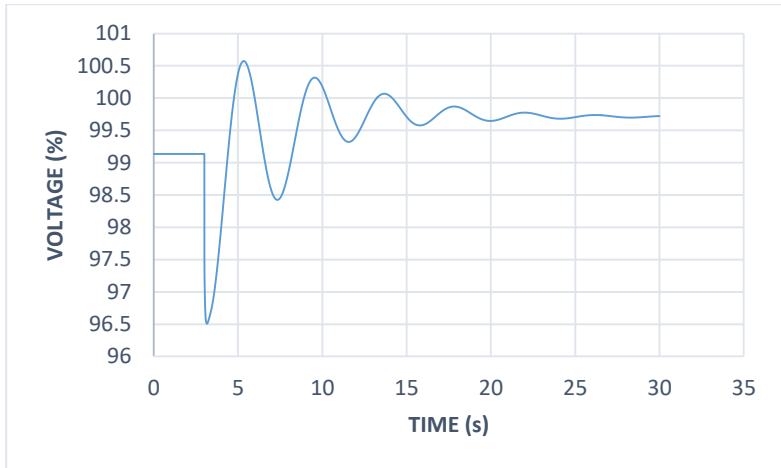
#### 4.6.1 Studi Kasus I\_5DG Saat *Islanding*

Pada kasus ini dilakukan simulasi saat mode *islanding*. Kondisi awal semua DG On, suplai PLN Off kemudian dilihat respon frekuensi dan tegangan pada saat satu unit DG lepas yaitu diesel\_1 berkapasitas pembangkitan 1.5 MW. Tujuannya adalah untuk melihat respon kestabilan frekuensi dan tegangan saat pembangkitan DG berkurang. Berikut hasil simulasi sistem kasus I\_5DG:



**Gambar 4.30** Respon Frekuensi Bus 63 Kasus I\_5DG Saat *Islanding*

Dikarenakan mode operasi dari minihidro dinaikkan dari 1.5 MW menjadi 3 MW maka generator minihidro mensuplai total 6 MW ke sistem dan total pembangkitan 6 DG yaitu 12 MW. Pada kasus ini diberikan gangguan berupa lepasnya generator diesel\_1 dengan pembangkitan 1.5 MW. Dari gambar 4.30 terlihat bahwa respon frekuensi pada detik ke 3 setelah terjadi gangguan mengalami penurunan mencapai 99.16 %. Berbeda dengan respon frekuensi saat operasi minihidro 1.5 MW pada gambar 4.20, respon frekuensi saat operasi 3 MW lebih baik karena drop frekuensi yang lebih kecil. Namun osilasi yang terjadi cukup lama karena kelebihan jumlah pembangkitan.

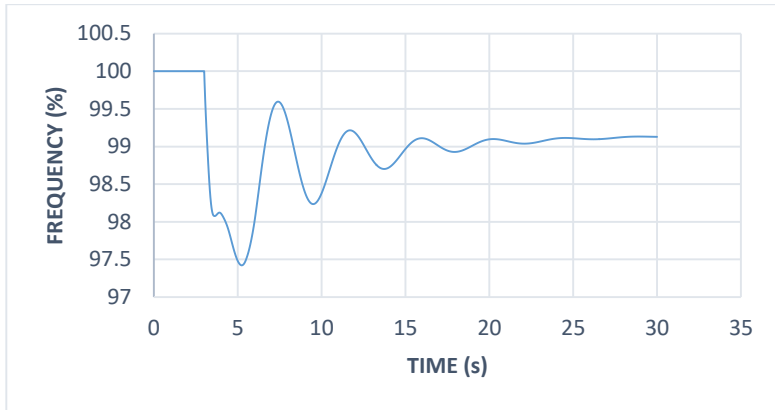


**Gambar 4.31** Respon Tegangan Bus 63 Kasus I\_5DG Saat *Islanding*

Kemudian dari hasil simulasi didapatkan respon tegangan terhadap lepasnya DG diesel\_1 dengan pembangkitan 1.5 MW pada gambar 4.31. Terjadi penurunan level tegangan mencapai 96.5 % karena jumlah pembangkitan berkurang namun tegangan dapat kembali *steady state*. Penurunan level tegangan masih dalam batas yang diizinkan yaitu -10 %. Sistem masih berada pada batas normal karena suplai dapat dijaga oleh grid dan DG lainnya.

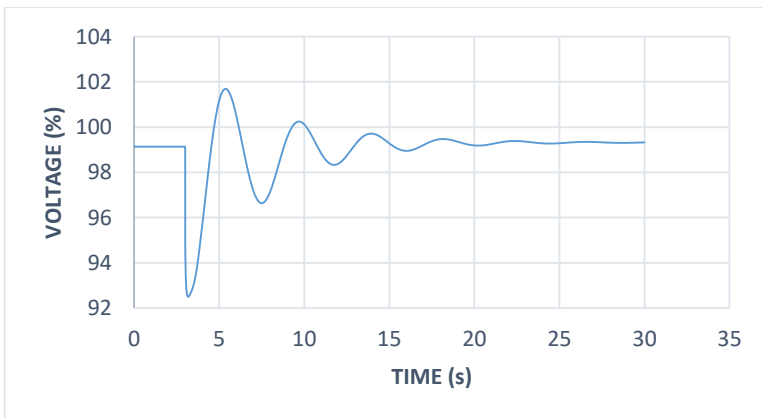
#### 4.6.2 Studi Kasus I\_4DG Saat *Islanding*

Pada kasus ini dilakukan simulasi saat mode *islanding*. Kondisi awal semua DG On, suplai PLN Off kemudian dilihat respon frekuensi dan tegangan pada saat dua unit DG lepas yaitu diesel\_1 dan diesel\_2 berkapasitas pembangkitan total 3 MW. Tujuannya adalah untuk melihat respon kestabilan frekuensi dan tegangan saat pembangkitan DG berkurang 3 MW dari total pembangkitan 12 MW. Berikut hasil simulasi sistem kasus I\_5DG:



**Gambar 4.32** Respon Frekuensi Bus 63 Kasus I\_4DG Saat *Islanding*

Saat mode *islanding* dengan operasi minihidro dinaikkan menjadi 3 MW maka pada saat terjadi pelepasan 2 unit generator, respon frekuensi akan stabil. Tanpa ada pelepasan beban, DG mampu mensuplai keseluruhan beban pada kondisi *islanding*. Pada gambar 4.32 frekuensi turun setelah terjadi gangguan namun turunnya masih pada batas yang diizinkan yaitu 97.4 %. Sehingga tidak diperlukan skema pelepasan beban atau *load shedding*.



**Gambar 4.33** Respon Tegangan Bus 63 Kasus I\_5DG Saat *Islanding*

Tegangan pada gambar 4.33 nilai tegangan masih pada batas yang stabil. Penurunan tegangan tidak menimbulkan fenomena *voltage sag* karena berada diatas 90 %. Dari respon tegangan ini maka tidak diperlukan skema pelepasan beban, kontinuitas penyaluran daya listrik dapat terjaga.

Pada kasus ini apabila dibandingkan dengan kasus *islanding* ketika operasi minihidro 1.5 MW maka, dengan dinaikkan operasi minihidro menjadi 3 MW menyebabkan beban dapat disuplai oleh DG tanpa melakukan pelepasan beban atau *load shedding*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis kestabilan transien *microgrid* pada mode *grid connected* dan *islanding* yang dilakukan dari tugas akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pada mode *grid-connected* perubahan pembangkitan akibat lepasnya generator tidak terlalu berpengaruh pada kestabilan frekuensi dan tegangan sistem. Penurunan frekuensi dapat langsung kembali ke nilai *steady state* karena adanya dukungan dari grid PLN.
2. Kondisi transisi dari mode *grid connected* ke *islanding* dan mode *islanding* dapat menyebabkan turunnya frekuensi dan tegangan pada saat transien maupun *steady state* diakibatkan pembangkitan DG yang lebih kecil daripada total beban.
3. Dengan mensimulasikan kombinasi generator yang aktif, maka terdapat kondisi dimana frekuensi gagal untuk mencapai keadaan *steady state*. Teknik *load shedding* atau pelepasan beban sukses untuk melepas sejumlah beban berdasarkan penurunan frekuensi dan mengembalikan frekuensi ke kondisi *steady state*. Teknik ini dapat menjaga kontinuitas penyaluran daya pada kondisi tidak seimbang antara pembangkitan dan total beban.
4. Pengaturan *governor* tipe *droop* bekerja cepat untuk mengatur *sharing* daya dari DG saat terjadi perubahan beban dan *islanding* sehingga respon frekuensi meningkat.

#### **5.2. Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya mengenai judul tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Perlu dikembangkan penggunaan DG jenis lain seperti *photovoltaic*, *wind turbine* dan tipe *renewable energy* lain sehingga teknologi *renewable energy* dapat berperan penting dalam sistem distribusi.

2. Untuk kapasitas DG yang digunakan perlu dibahas agar hasil lebih optimal.
3. Perlu dikembangkan mengenai studi kestabilan sudut rotor, koordinasi proteksi dan harmonisa sebagai dampak penggunaan DG.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chowdhury S and Crossley P, "*Microgrids and Active Distribution Networks*". IET.
- [2] Ilhami Colak, "Voltage and Frequency Stability Analysis of AC Microgrid," *IEEE*, 2015.
- [3] Hasmaini Mohamad and Norazliani Md Sapari, "Under-Frequency Load Shedding Technique Considering Response Based For Islanding Distribution Network Connected With Mini Hydro," *Int. Power Eng. Optim. Conf.*, 2014.
- [4] Rory Campbel, "Fact sheet Distributed generation," *AEMC*, 2012.
- [5] M. Sachim and S. S.K., "Costing of a Small Hydropower Projects," *IACSIT Int. J. Eng. Technol.*, p. 2012.
- [6] M. Faishol Adityo, "Analisis Kestabilan Transien Pada Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur (Pabrik KALTIM 1) Akibat Pengaktifan Kembali Pembangkit 11 MW," *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2012.
- [7] "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality." IEEE, 2009.
- [8] "IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants." IEEE, 1987.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LAMPIRAN

## Datasheet Generator Diesel

Avesco AG  
Energy Systems  
Hasenmattstrasse 2  
CH - 4901 Langenthal / BE  
www.avesco.ch  
info@avesco.ch

Tel: +41 (0)848 363 749  
Fax: +41 (0)62 915 81 36

**avesco** **CAT**  
Ref: CAT C175-16 3000 (400V)\_EN  
Date: 11 November 2013

### Technical data Diesel Generator Set

### CAT C175-16 3000 (400V)

Output Ratings with Radiator	DIN/ISO 3046	
Combustion Strategy	Low BSFC, 48 °C ATAAC	
Generating set Model	Prime	Standby
400V, 50Hz, power factor 0.8	2'725 kVA	3'000 kVA
Feature Code	175DE15	
Performance No.	DM8720	DM8719

Diesel Engine	
Brand	Caterpillar
Type	C175 SCAC
No. of Cylinders / Alignment	16 / V
Cycle	4-Stroke
Cooling Method	Water-cooled
Fuel	Diesel
Speed	1'500 rpm
Bore	175.00 mm
Stroke	220.00 mm
Displacement	84.67 L
Compression Ratio	16.7:1
Aspiration	Turbo after cooler
Fuel System	Common Rail
Base Tank Capacity	n. a.
Jacket Water heaters	220 V / 9 kW
Starting Motor	24 V / 7 kW
Battery Type	153-5720
Quantity	4
Capacity per Battery / total	210 Ah - 12 V / 420 Ah - 24 V

Generator	
Brand	Caterpillar
Type / Frame	1866
Excitation	Permanent Magnet or AREP
Pitch	0.6667
Number of Poles	4
Number of Bearings	2
Number of Leads	6
Insulation	Class H
IP Rating	IP23
Nominal Speed	1'500 rpm
Over Speed capability	150 %
Wave form Deviation (Line to Line)	5 %
Voltage Regulator	3 Phase sensing with selectable volts/Hz
Voltage regulation	Less than $\pm 1\%$ (steady state) Less than $\pm 1\%$ (with 3% speed change)
Telephone Influence Factor (TIF)	Less than 50
Total Harmonic Distortion (THD)	Less than 3%
CBK 3pol manual, fixed mount rear	5'000 A / 50 kA
Typical Cabling: TN-C (Prime)	12 x 4 x 240 mm <sup>2</sup> + 6 x 1 x 240 mm <sup>2</sup>
Typical Cabling: TN-C (Standby)	12 x 4 x 240 mm <sup>2</sup> + 6 x 1 x 240 mm <sup>2</sup>

Package Dimensions	
Engine:	Length x Width x Height
	3'957 x 1'715 x 1'536 mm
Weight	12'618 kg
Generator:	Length x Width x Height
	2'637 x 1'290 x 1'804 mm
Weight	5'592 kg
Radiator:	Length x Width x Height
	2'553 x 3118 x 3603 mm
Dry Weight	3'591 kg
Complete:	Length x Width x Height
	7'851 x 2'727 x 3'304 mm
Weight	22'301 kg



Technical Data	Prime	Standby
<b>Fuel Consumption</b>		
100% load with Fan	559.6 L/hr	615.5 L/hr
75% load with Fan	429.5 L/hr	467.7 L/hr
50% load with Fan	307.5 L/hr	331.8 L/hr
Oil consumption 75% load	0.306 L/hr	0.335 L/hr
<b>Cooling System</b>		
Engine coolant Capacity with Radiator / expansion Tank	780.5 L	
Engine coolant Capacity	303.5 L	
<b>Inlet Air</b>		
Combustion Air inlet flow rate	175.7 m <sup>3</sup> /min	188.8 m <sup>3</sup> /min
<b>Exhaust System</b>		
Exhaust stack gas Temperature	476.2 °C	485.3 °C
Exhaust gas flow rate	456.9 m <sup>3</sup> /min	498.0 m <sup>3</sup> /min
Exhaust System backpressure max.	6.7 kPa	
<b>Heat Rejection</b>		
Heat Rejection to coolant (total)	1'047 kW	1'160 kW
Heat Rejection to exhaust (total)	2'048 kW	2'264 kW
Heat Rejection to after cooler	188 kW	221 kW
Heat Rejection to Atmosphere from Engine	254 kW	171 kW
Heat Rejection to Atmosphere from Generator	81.4 kW	92.2 kW
<b>Lube System</b>		
Sump refill with Filter	530.0 L	
<b>Exhaust Emission (Nominal Data); Potential Site Variation possible</b>		
NOx mg/nm <sup>3</sup>	4'524.1	4'103.7
CO mg/nm <sup>3</sup>	133.5	153.1
HC mg/nm <sup>3</sup>	81.8	52.3
Part Matter mg/nm <sup>3</sup>	18.5	10.4
<b>Generator</b>		
Motor starting capability @30%	6'187 skVA	
Voltage Dip	3'933.2 A	4'330.1 A
Rated Current	3'933.2 A	
Short-Circuit Current	3 x I <sub>SC</sub>	

Radiator	
Radiator Type	SF64.0CV5
Design Temperature	40 °C
Radiator coolant Capacity	477.0 L
Air Flow @ 120 Pa	2'074 m <sup>3</sup> /min
Air Flow @ 180 Pa	1'986 m <sup>3</sup> /min

Sound pressure Level LPA @ 75% Last @ 7m										
dB	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Overall dBA
Mechanical [Stdby]	100	93	94	92	90	90	87	93	93	121
Exhaust [Stdby]	100	112	97	94	94	96	94	92	92	127
Mechanical [Prim]	100	93	93	91	90	90	86	89	93	121
Exhaust [Prim]	100	112	96	93	93	95	93	93	93	127

All data in this document is for information only and is subject to change.

## Datasheet Minihidro

- Marine design in acc. to ABS, BV, DNV, RINA with approx. power reduction of 5 %
- By 2/3 chording design approx. 10 % power reduction
- By air filter installation approx. 5 % power reduction
- Data like weights, mass moments of inertia, partial load efficiencies, reactances as well as measures on special request.
- Modified powers especially in border range are to agree on special request.

8.2.5 Table 10 - Rated data: 10-pole, 600/ 720 rpm, 200 - 3700 kVA, PF = 0,8

Type	Rated power [kVA], S1, Icd. F					
	400 V, 50 Hz			450 V, 60 Hz		
	40 °C	45 °C	$\eta$ (%)	40 °C	45 °C	$\eta$ (%)
SE 400 S10	205	200	91,5	250	240	92,2
M10	260	250	92,4	310	300	92,9
L10	325	315	93,1	410	400	93,6
SE 450 S10	410	400	93,2	495	480	93,7
M10	515	500	93,8	615	600	94,5
SE 500 S10	645	630	94,2	770	750	94,7
M10	820	800	94,9	985	960	95,1
L10	1030	1000	94,8	1230	1200	95,0
SE 630 SA10	1290	1250	95,3	1600	1560	95,5
S10	1600	1560	95,6	1850	1800	95,6
M10	1850	1800	95,6	2200	2150	95,9
L10	2150	2100	95,8	2460	2400	95,9
SE 710 SA10	2460	2400	95,7	2920	2850	96,1
S10	2770	2700	96,0	3250	3150	96,3
M10	3100	3000	96,2	3700	3600	96,4

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Syamsul Arbi, biasa dipanggil Syamsul. Penulis dilahirkan di Kota Padang, pada tanggal 29 Desember 1994. Penulis merupakan anak keempat dari enam bersaudara dari pasangan M. Nasir dan Asnimar. Penulis menempuh pendidikan formal di SD 04 Terandam dan lulus pada tahun 2007. Selanjutnya penulis melanjutkan studi ke SMPN 8 Padang dan lulus pada tahun 2010. Setelah itu penulis melanjutkan ke SMAN 1 Padang dan lulus pada tahun 2013.

Pada tahun 2013 penulis melanjutkan studi ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Departemen Teknik Elektro. Selama perkuliahan penulis pernah aktif sebagai staff Departemen Kewirausahaan Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro pada tahun 2014-2015. Penulis memiliki hobi futsal, dan telah mengikuti perlombaan futsal antar jurusan se-ITS. Penulis melaksanakan kerja praktek di PT.PJB UP Paiton di divisi Engineering. Penulis juga aktif di Ikatan Mahasiswa Minang (IMAMI) sebagai wakil ketua pada tahun 2016-2017. Penulis menyukai kegiatan *travelling* dan mengunjungi daerah-daerah baru. Selanjutnya penulis memiliki cita-cita menjadi seorang Menteri Pariwisata Indonesia.

*email: syamsularbi05@gmail.com*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*